

UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

MEMOIRE PRESENTE A  
UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAITRISE EN PSYCHOLOGIE

PAR  
FRANCOIS PAQUETTE

LA STEREOPSIE TELLE QUE MESUREE PAR LA DISCRIMINATION  
DE STEREOGRAMMES DE JULESZ CHEZ QUATRE SUJETS  
ATTEINTS D'AGENESIE CALLEUSE

DECEMBRE 1985

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## Sommaire

Le corps calleux a déjà fait l'objet de nombreuses recherches et il est maintenant établi que cette structure cérébrale constitue un relai important dans l'acheminement de l'information visuelle. Depuis quelques années, plusieurs recherches ont étudié l'importance de cette structure via la perception binoculaire de la profondeur, c'est-à-dire la stéréopsie. Deux types de stéréopsie ont été identifiés: la stéréopsie locale, qu'elle soit fine ou grossière et la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz. Plusieurs études ont porté sur la stéréopsie locale. A cet effet, il semble que le rôle du corps calleux soit déterminant en stéréopsie grossière et ce, autant chez l'homme que chez l'animal alors qu'en stéréopsie fine, son rôle reste à déterminer. Aucune recherche n'a encore vérifié chez l'homme l'importance du corps calleux dans la discrimination de la profondeur à partir de stéréogrammes de Julesz. Une étude récente, suggérant que cette structure pourrait être impliquée dans la perception de stéréogrammes de Julesz chez le chat callosotomisé, permet d'avancer les hypothèses suivantes; des sujets acalleux de naissance auront une performance inférieure aux sujets contrôles dans une tâche de stéréopsie où des stéréogrammes de Julesz sont présentés et ce, quelque soit le degré d'excentricité ou de disparité rétinienne du stimulus. De plus, leur capacité de discrimination en vision centrale sera moins bonne qu'en périphérie. L'expérience

est effectuée auprès de quatre sujets totalement acalleux de même que chez deux groupes contrôles l'un de niveau scolaire équivalent à celui des sujets acalleux et l'autre de niveau scolaire moyen.

Les appareils utilisés à cette fin comprennent un micro-ordinateur, une imprimante, un moniteur couleur, des clés-réponses et enfin des lunettes stéréoscopiques. Pour vérifier notre hypothèse, une mesure (variable dépendante) est enregistrée i.e. la réponse du sujet. Les variables indépendantes sont représentées par la présence ou non du corps calleux, ainsi que les degrés d'excentricité et de disparité rétinienne selon lesquels chaque stimulus est présenté.

Nos résultats démontrent une ressemblance fonctionnelle entre les sujets acalleux et ceux appariés selon le quotient intellectuel, bien que les sujets acalleux montrent une performance légèrement plus faible. Par contre, leur capacité de discrimination s'améliore lorsque le temps d'exposition du stimulus est augmenté. Cependant, il existe une différence significative entre ces deux groupes de sujets et ceux composant le deuxième groupe contrôle. Cette différence est attribuable à l'écart existant entre leurs capacités cognitives. Ainsi, l'absence de corps calleux influence légèrement la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz et ce, au niveau du temps de perception des sujets. Quelques hypothèses s'offrent pour expliquer ces résultats; le corps calleux jouerait un rôle facilitateur dans ce type de stéréopsie, alors que le chiasma optique assurerait l'acheminement de l'information visuelle binoculaire concernant la perception de la profondeur à partir de stéréogrammes de Julesz.

## Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre premier - La stéréopsie.....	6
Indices binoculaires.....	8
A. La convergence.....	8
B. Parallaxe binoculaire.....	11
C. La disparité rétinienne.....	11
Les stéréogrammes de Julesz.....	18
La stéréopsie locale.....	26
La stéréopsie à partir des stéréogrammes de Julesz.....	28
Voies d'acheminement de l'information visuelle.....	31
A. Premier relai: la rétine.....	31
B. Deuxième relai: le chiasma optique.....	32
C. Troisième relai: le corps genouillé latéral et les radiations optiques.....	33
D. Le cortex visuel.....	34
Voies d'acheminement de l'information binoculaire reliées à la stéréopsie.....	40
A. Le chiasma optique.....	40
B. Le corps calleux.....	42
Travaux électrophysiologiques et comportementaux.....	43
A. Le chiasma optique.....	43
B. Le corps calleux.....	44

Table des matières (suite)

Chapitre II - Description de l'expérience.....	52
Description des sujets formant le groupe expérimental.....	53
Tests préliminaires.....	57
Test d'acuité visuelle.....	57
Epreuves intellectuelles.....	57
Epreuves expérimentales.....	58
Formation du stimulus.....	58
Filtres.....	58
L'effet de stéréopsie.....	59
Présentation des stimuli.....	61
Appareils utilisés.....	62
Déroulement de l'expérience.....	63
A. Phase d'apprentissage.....	65
B. Phase expérimentale.....	66
Chapitre III - Analyse des résultats.....	67
Résultats des tests préliminaires.....	68
Examen visuel.....	68
Epreuve intellectuelle.....	68
Variables indépendantes et variable dépendante.....	69
Résultats de l'expérience.....	69
Transformations préliminaires des mesures expérimentales.....	69
Traitement des résultats et formules statistiques.....	70
Analyse portant sur le nombre de bonnes réponses pour les trois groupes de sujets.....	70

Table des matières (suite)

Analyse portant sur le nombre de bonnes réponses des sujets à l'excentricité 0° par rapport aux autres degrés d'excentricité....	86
Chapitre IV - Discussion des résultats.....	95
Conclusion.....	102
Appendice A - Acuité visuelle des sujets composant le groupe expérimental et les deux groupes contrôles.....	106
Appendice B - Résultats au test d'intelligence.....	108
Appendice C - Résultats détaillés de chaque groupe.....	110
Appendice D - Résultats détaillés des sujets composant le groupe expérimental et les deux groupes contrôles.....	112
Appendice E - Figure illustrant la performance des sujets acalleux en fonction du temps d'exposition du stimulus et de son degré de disparité.....	116
Appendice F - Figure comparant la performance des sujets acalleux à 300 ms à celle des sujets contrôles à 150 ms en fonction du degré de disparité.....	118
Appendice G - Figures comparant la performance des sujets acalleux en fonction du temps de présentation du stimulus et de son degré d'excentricité et de disparité rétinienne.....	120
Appendice H - Figure illustrant la performance des sujets acalleux à l'excentricité 0° en fonction du temps d'exposition du stimulus et de son degré de disparité.....	123
Appendice I - Figure comparant la performance des sujets acalleux à celle des sujets contrôles à l'excentricité 0° en fonction du temps d'exposition du stimulus et de son degré de disparité.....	125
Références.....	128

## Introduction



Le monde physique dont tout être tient son expérience s'étend dans tous les sens par rapport à l'observateur. Celui-ci se trouve au centre, la scène visuelle s'étend devant lui en plusieurs secteurs avec de grands objets distincts au premier plan et une infinité de surfaces et de contours placés au-delà à différentes distances. Bien que l'homme n'ait pas d'yeux derrière la tête, il est parfaitement conscient que le monde qui l'entoure s'étend aussi derrière lui et qu'il peut être vu en tournant la tête. Mais la surface réceptrice de l'oeil, la rétine sur laquelle tombe cette image du monde, n'a que deux dimensions. Bien qu'elle soit recourbée à l'intérieur du globe oculaire, elle n'est qu'une surface bi-dimensionnelle, une plaque photographique ou une vitre transparente sur laquelle sont dessinés les objets. Cependant, l'homme ne voit pas le monde comme une photographie plane ou une reproduction sur verre: il le voit avec toutes ses dimensions et est capable de juger la position, la distance, la taille et la forme des objets avec exactitude et sûreté (Pirenne, 1972).

Il y a donc ici un paradoxe: le monde possède trois dimensions, l'image rétinienne est plane mais l'expérience visuelle perçoit ces trois dimensions. D'une façon quelconque, à un point déterminé du système visuel, les dimensions doivent être reconstituées. Mais comment? Quel est le système qui permet à l'être de voir un monde tridimensionnel ayant les objets placés à des endroits dont il peut évaluer la distance avec une rapidité et une précision remarquables?

Ce problème a préoccupé des hommes pendant des siècles, fascinant l'imagination d'individus aussi éloignés dans le temps et différents dans leurs activités qu'Euclide au IV<sup>ème</sup> siècle avant notre ère, Léonardo da Vinci pendant la Renaissance et l'évêque George Berkeley au XVIII<sup>ème</sup> siècle. Pour étudier ce problème, les méthodes ont passé de la pensée mystique ou philosophique aux techniques expérimentales, mais les chercheurs d'aujourd'hui ont tendance à penser à la vision spatiale "non comme un mystère, mais comme un fait physique", qui commence lorsque quelque chose dans le monde pénètre dans l'oeil où il est modifié de façon particulière par l'appareil visuel (Pirenne, 1972).

Les chercheurs semblent d'accord sur le fait que l'image sur la rétine est envoyée comme une série de signaux électrochimiques et ceux-ci sont analysés de façon appropriée par le cerveau (e.g. Cornsweet, 1970; Dodwell, 1970; Carlerette et Friedman, 1973). Dans ce sens, la perception de la profondeur ne résulte pas que de l'intégration sensorielle de l'information visuelle qui s'opère par l'intermédiaire de l'oeil, mais résulte du traitement de cette information par le cerveau. Chez l'homme, l'oeil perçoit les formes et les nuances mais c'est le cerveau qui détermine si l'élément perçu est près ou loin d'un plan de référence, qui peut être l'observateur ou un objet compris dans le champ visuel. Il est important de bien cerner cette nuance, car elle témoigne que le cerveau constitue la principale structure impliquée dans la perception de la profondeur, l'oeil bien que nécessaire n'est que l'instrument qui achemine l'information (Pirenne, 1972).

L'individu perçoit la profondeur tant d'un seul oeil qu'avec

les deux yeux, d'où les expressions "vision monoculaire" ou "binoculaire de la profondeur". Bien que ces deux types de perception aient pour but d'adapter l'être à l'intérieur du monde dans sa position "réelle", ils opèrent de façon légèrement différente. La vision monoculaire fait appel à des indices perceptuels qui permettent de discriminer la profondeur à partir des caractéristiques de l'objet. La vision binoculaire de la profondeur, aussi connue sous le nom de stéréopsie, s'effectue à l'aide d'indices binoculaires tels que le degré de convergence et de disparité rétinienne. Cependant, les indices binoculaires sont plutôt d'ordre organique et neurologique que perceptuels (Frisby, 1981).

Aujourd'hui, la notion de vision monoculaire de la profondeur semble relativement bien établie. Par contre, malgré l'apport considérable de nombreux chercheurs (Kepler, Vieth, Müller, Panum), la question de stéréopsie (vision binoculaire de la profondeur) suscite toujours de grandes controverses, d'autant plus qu'il existe plusieurs types de stéréopsie: l'une de type local; la stéréopsie fine et la stéréopsie grossière et l'autre se rapportant à la perception de stéréogrammes de Julesz. La perception de la stéréopsie locale et celle des stéréogrammes de Julesz sont probablement dues au même mécanisme. Il existe, toutefois, différents types de stéréopsie telles que la disparité binoculaire de position, d'orientation et de fréquence spatiale. Plusieurs recherches, autant dans le domaine clinique qu'expérimental, tentent d'élucider certains mystères concernant ce type de vision. Ces recherches s'intéressent à l'exploration des structures et des organisations cérébrales responsables de la stéréopsie. Il semble que la stéréopsie sous-tend une organisation cérébrale particulière ou encore

une localisation physiologique bien précise. Dans cette optique, la présente recherche tente d'élucider plus particulièrement le phénomène de la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz et ce, grâce à diverses études de localisations et d'organisations cérébrales concernant les lobes occipitaux, le chiasma optique et le corps calleux.

De façon générale, les lobes occipitaux sont impliqués au niveau du traitement de l'information visuelle. Quant au chiasma optique, il sert à l'acheminement de l'information visuelle périphérique dans les hémisphères cérébraux contralatéraux. Finalement, la partie postérieure du corps calleux qui sépare les lobes occipitaux serait responsable du transfert de l'information visuelle entre les deux hémisphères. Certaines recherches suggèrent que cette structure interviendrait dans la capacité de percevoir la stéréopsie locale, de type grossière. La présente étude a pour but de vérifier cet énoncé dans une tâche de stéréopsie utilisant des stéréogrammes de Julesz.

## Chapitre premier

### La stéréopsie

## La stéréopsie

La stéréopsie se définit comme la perception binoculaire de la profondeur rendue possible par le fait que les deux yeux voient le monde extérieur à partir de différents angles (Bishop, 1975). L'effet en est un de profondeur ou de relief qui est produit par des indices visuels fournis à partir de la vision isolée d'une image à plan unique (Braunstein, 1976).

Les informations visuelles sont constituées de tâches, de lignes, de contours, d'ombres et d'espaces entre les lignes. Elles atteignent l'oeil et sont reçues au cerveau de telle façon qu'elles constituent ce qui est appelé des "indices visuels" (Gregory, 1966). Certains indices dit "monoculaires" sont attribués à la déduction logique de la profondeur à partir de la position et des caractéristiques des objets disposés dans le champ visuel. Il en existe plusieurs tels que la perspective linéaire, l'éclairement des surfaces, l'ombre, la texture, la parallaxe de mouvement, l'accommodation et la couleur. Ces indices sont responsables de la perception monoculaire de la profondeur. Par ailleurs, certains d'entre eux sont liés à la façon dont les yeux, simultanément, traitent les informations qu'ils reçoivent. Ils sont connus sous le nom d'indices "binoculaires de la profondeur" et jouent un rôle déterminant dans la stéréopsie (Bishop 1971; Gregory, 1966; Kaufman, 1979).

### Indices binoculaires

L'homme ne perçoit pas les objets en double bien qu'il ait deux yeux. Il semble voir l'espace visuel comme s'il ne le voyait qu'avec un seul oeil (oeil cyclope) Helmholtz (1957). Ce processus n'est pas spécifique à la vision, car l'homme a également deux oreilles alors qu'il n'entend qu'un même son et plus simplement encore, il ne perçoit qu'une bille quand il la tient entre les deux doigts. Mais étant donné la finesse remarquable de la perception des détails par la rétine, l'unification des deux images ponctuelles rétiniennes en un seul point source est beaucoup plus parfaite. Ce processus d'unification, fondamental à la stéréopsie, intervient pour fusionner en une seule, chacune des images perçues par chaque oeil (Legrand, 1956). Le terme fusion est ici utilisé dans deux sens, la fusion motrice et la fusion sensorielle dont les composantes constituent des indices binoculaires (Bishop, 1981).

#### A. La convergence

La fusion motrice réfère au reflexe des mouvements de centration nécessaires pour amener et maintenir un bon alignement des yeux. Elle est complétée d'un indice binoculaire, la convergence (LeGrand, 1964, 1960; Reading, 1983).

L'action musculaire des yeux qui s'opère dans la mécanisme de convergence joue un rôle important dans la perception de la profondeur (Braunstein, 1976). La convergence est ce mouvement des yeux vers

l'intérieur (en direction du nez) qui s'effectue lorsque le cerveau désire fusionner deux images en une seule. Les images seront perçues comme n'en formant qu'une puisque les yeux auront la même direction visuelle. Il est bien établi que les objets sont perçus à différentes distances quand ils sont vus selon différents angles de convergence (Kaufman, 1979). Comme les yeux doivent converger davantage pour observer les objets proches que les objets lointains, l'angle de convergence serait transmis au cerveau pour lui permettre d'apprécier la distance comme un télémètre (LeGrand, 1966). Certains chercheurs (Gibson, 1950; Gillan, 1970) ont tenté de comprendre la nature et la précision de l'information obtenue sur la distance par l'angle de convergence, mais ils ignorent toutefois quelles sont les cellules responsables de l'acheminement de cette information.

Les yeux changent d'angle de convergence, répondant à deux sortes de stimulation. Il s'agit de la diplopie et de l'image floue. La diplopie est le fait de voir double un élément perçu dans le champ visuel (Kaufman, 1974). Lorsqu'une personne regarde une scène contenant plusieurs objets, à différentes distances, les yeux convergent pour ne fixer qu'un seul objet. Cet objet est vu simple, alors que ceux situés à proximité devant ou derrière celui-ci, sont vus double parce qu'ils n'apparaissent pas dans la fovéa de chaque rétine mais dans la région para-fovéale. Quand l'attention est portée sur un autre objet plus rapproché ou plus distant, l'angle de convergence change pour que l'objet vu double apparaisse au centre de la fovéa afin d'être vu simple (Burian et Von Noorden, 1974; LeGrand, 1964).



Le mécanisme de convergence opère également lorsque l'observateur ne perçoit pas d'image double. Dans ce cas, il intervient pour maintenir l'image au centre de la fovéa afin qu'elle ne soit pas vue comme "floue" (Kaufman, 1974).

En revanche, l'accommodation est ce mécanisme par lequel le cristallin de l'oeil se rétracte ou se contracte pour garder claire l'image d'un objet situé près ou loin de l'observateur. C'est l'apparence "floue" de l'image sur la rétine qui provoque la stimulation pour changer l'accommodation (Lowenstein et al., 1962).

Lorsque l'observateur suit un objet en mouvement, deux choses se produisent: un ensemble de muscles oculaires ajuste continuellement l'orientation des yeux afin de les garder fixés sur l'objet (i.e. pour maintenir la convergence) et un deuxième ensemble de muscles modifie l'épaisseur du cristallin (l'accommodation), faisant ainsi dévier les rayons lumineux pour maintenir une clarté appropriée de l'image sur la surface rétinienne à l'arrière de l'oeil. Ainsi, lorsque les yeux ne réussissent pas à s'accommoder à l'objet perçu, le mécanisme de convergence opère en centrant les yeux sur le stimulus afin de compléter l'accommodation (Kaufman, 1974; Burian et Von Noorden, 1974; LeGrand, 1964).

Les mécanismes responsables de la fusion sensorielle constituent des indices binoculaires plus importants que le mécanisme de convergence responsable de la fusion motrice (Kaufman, 1974). La fusion sensorielle est le processus par lequel la vision binoculaire est complétée à partir de deux images rétiniennes légèrement disparates dues

à la parallaxe binoculaire (Bishop, 1981).

#### B. La parallaxe binoculaire

Contrairement à ceux de plusieurs espèces animales les yeux de l'homme regardent dans la même direction en même temps et sont coordonnés pour harmoniser leurs deux images. Leurs centres sont séparés par un espace moyen d'environ 7 cm et, par conséquent, chaque oeil est incapable de regarder un objet de la même façon que l'autre. C'est ce qui constitue la parallaxe binoculaire. Ainsi, à partir des deux yeux, le cerveau perçoit des images légèrement différentes. Cette divergence est simplement une conséquence géométrique, du fait que les yeux ont des positions différentes (Frisby, 1977). Il suffit qu'un observateur clignote des yeux en alternance pour percevoir cette distinction; tout objet rapproché semble alors se déplacer de côté par rapport aux objets plus éloignés (Kaufman, 1974). Cette différence perceptuelle entre les deux images est techniquement appelée la disparité horizontale de position. Elle fournit la donnée essentielle pour l'estimation de la stéréopsie (Bishop, 1975).

#### C. La disparité rétinienne

Il existe plusieurs types de disparité soit, de position, d'orientation, de mouvement ou de temps (Bishop, 1971). Cependant, c'est de la disparité de position dont il sera principalement question dans la présente recherche.

Ce principe s'explique plus précisément par la notion de

"points correspondants". Chaque point compris dans le champ visuel correspond à un point défini sur la rétine. C'est donc dire qu'un objet possède une localisation définie dans le champ visuel de même qu'une localisation rétinienne. La relation entre ces deux localisations ou points forme un axe visuel. La localisation rétinienne des points compris dans le champ visuel change ainsi que l'axe qui les relie et ce, à chaque fois que l'oeil regarde dans une nouvelle direction. En d'autres termes, les points du champ visuel ne stimulent pas toujours les mêmes cellules rétiniennes et par conséquent, l'axe qui relie le point du champ visuel à la nouvelle cellule excitée est différent (LeGrand, 1964; Bishop, 1975). Néanmoins, les images perçues par chaque oeil sont généralement fusionnées en une seule et ce, parce que la disposition horizontale des yeux et la coordination binoculaire des mouvements font en sorte qu'un point déterminé du stimulus excite au même moment un point déterminé sur la rétine de chaque oeil. Ces deux points rétiniens sont dits "correspondants" (LeGrand, 1964). En effet, chaque point rétinien d'un oeil correspond à un point rétinien de l'autre oeil. Ainsi, lorsqu'un point déterminé du stimulus perçu chute sur le point rétinien correspondant, les deux images se fusionnent. Par contre, il arrive que dans certains cas deux points rétiniens correspondants ne soient pas stimulés par un même point du champ visuel à cause de la position que ce dernier occupe dans l'espace. C'est le cas lorsqu'une personne converge excessivement les yeux en direction du nez. Les images sont alors doublées puisque ce point du champ visuel ne stimule plus deux points rétiniens correspondants, mais disparates. Il existe entre les deux images perçues une disparité rétinienne horizon-

tale de position (Bishop, 1975).

Un exemple schématique emprunté de Kaufman (1979) permet de mieux visualiser ce phénomène. Il est question de deux barres identiques (voir figure 1) voisines d'un plan médian, situées à des distances légèrement différentes. Les barres sont vues sous des angles  $u_1$  et  $u_2$  différents depuis le centre des points nodaux des yeux. Donc elles sont perçues selon des axes visuels différents. Les yeux sont fixés sur l'élément le plus proche, qui par conséquent, projette une image au milieu de chaque rétine (la fovéa). Ces deux images se fusionnent puisqu'elles stimulent des points rétinien correspondants. Par contre, l'image de l'élément plus éloigné, n'étant pas fixée binoculairement, tombe sur des localisations différentes ou disparates dans les deux yeux. Les points rétinien stimulés ne sont plus correspondants. Il existe entre les deux images rétinien une disparité binoculaire de position qui est mesurée à partir des angles  $u_1$  et  $u_2$  selon lesquels ces objets sont perçus. La différence entre les deux images rétinien i.e. entre les cellules excitées, constitue la disparité rétinienne (Kaufman, 1979; Reading, 1983).

Dans cet exemple, le sujet a le regard mobile et il amène le point de fixation binoculaire sur un objet puis sur l'autre. L'angle entre les axes de regard des deux yeux, dit angle de convergence, passe de la valeur  $x^1$  à la valeur  $x^2$  et la variation de convergence  $x^2 - x^1$  est susceptible d'être perçue et interprétée comme différence de profondeur. La convergence constitue alors un indice supplémentaire de binocularité (Reading, 1983).

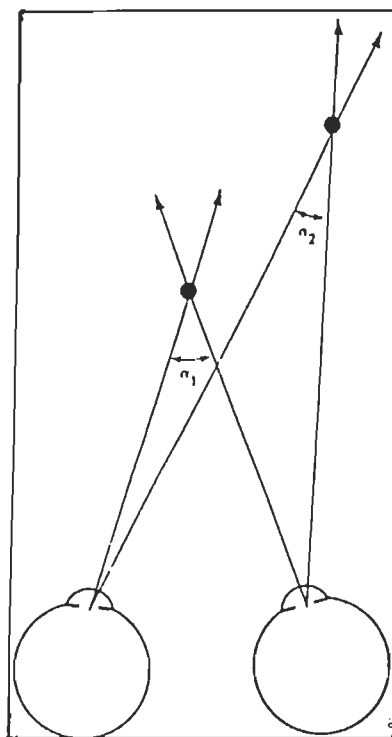


Fig. 1- L'angle de convergence nécessaire pour fixer l'objet rapproché est de  $u_1$ . Un angle de convergence différent i.e.  $u_2$  est nécessaire pour fixer l'objet éloigné. La différence entre les deux angles de convergence est la mesure relative de la disparité rétinienne (dans Kaufman, 1974).

Par contre, dans le cas où le regard est immobile, l'angle de convergence ne varie pas et ne sert plus d'indice à la profondeur. Le seul indice efficace est la disparité rétinienne. C'est pourquoi elle constitue l'indice essentiel de la stéréopsie (Wheatstone, 1838).

Avant Wheatstone, il était cru que seuls les objets dont les images chutaient sur des points correspondants dans les deux rétines étaient vus simple et que ceux qui chutaient sur des points non-correspondants étaient vus double. Depuis, Wheatstone a reconnu par ses observations que la stimulation des points rétiniens disparates ou non-correspondants peut aussi conduire à une vision binoculaire simple, mais en provoquant un effet particulier (Bishop, 1981).

L'expérience de Wheatstone qui, en 1838 construisit le premier stéréoscope, illustre bien ce phénomène (voir figure 2). Il plaça deux barres verticales à différentes distances de l'observateur et remarqua que l'image perçue diffèrait pour chaque oeil. Vues monoculairement, les deux barres semblaient plus espacées horizontalement pour l'oeil droit que pour l'oeil gauche. Il reproduisit sur papier l'image perçue par chaque oeil et à l'aide d'un système de miroirs, il projeta l'image perçue par l'oeil gauche sur l'oeil gauche et l'image perçue par le droit sur l'oeil droit. Il observa que la perception simultanée de ces deux images à un plan unique provoque un effet de profondeur; une barre paraissant plus éloignée que l'autre. Cet effet est causé par le degré de disparité qui existe entre les deux images rétiniennes.

Dans ce type d'expérience, la barre gauche dans l'image de gauche se fusionne à celle de gauche dans l'image de droite parce

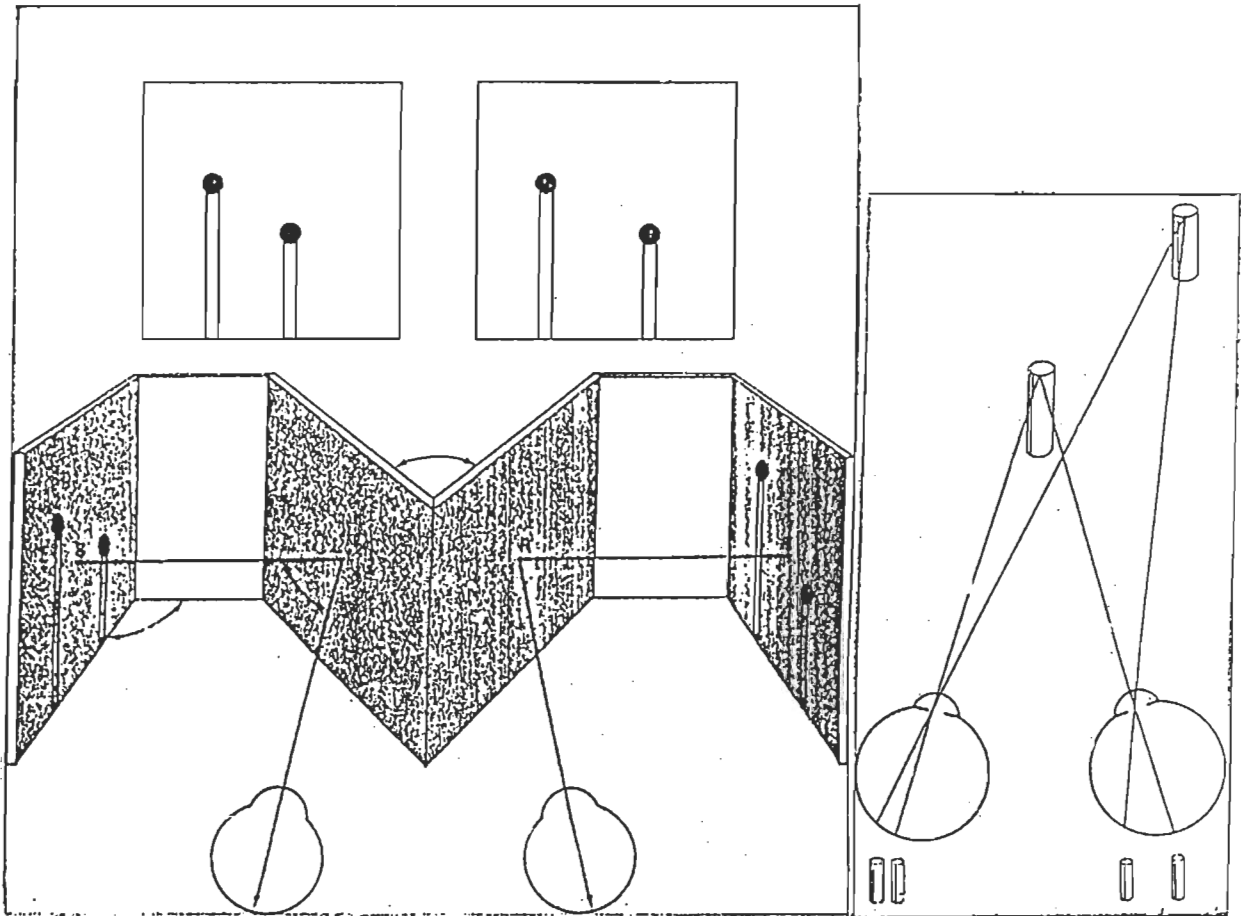


Fig. 2- Les deux barres vues par la rétine de l'oeil gauche sont plus rapprochées entre elles que celles perçues par la rétine de l'oeil droit. Cette différence entre les deux images perçues est la disparité rétinienne. Quand l'oeil gauche et l'oeil droit voient ces images isolément, l'une des deux barres est vue en profondeur. Le croquis de droite illustre l'effet de profondeur produit par la vision de ces deux images isolées (dans Kaufman 1979).

qu'elles sont présentées dans le même angle visuel et stimulent des points rétinien correspondants. Cependant, les barres de droite dont l'angle de présentation diffère pour les deux yeux, ne stimulent plus des points rétinien correspondants. Elles ne sont pas doublées, mais elles se fusionnent de sorte qu'elles sont perçues en profondeur. Cette disparité binoculaire imite celle qui existe ordinairement entre les vues de scènes authentiquement tridimensionnelles reçues par les deux yeux. Dans le cas où deux images sont perçues isolément, seul le degré de disparité rétinienne est un indice à la profondeur alors que la convergence est inefficace (Wheatstone, 1838).

Ce pouvoir de combiner deux images différentes est appelé vision stéréoscopique et c'est le principe même du stéréoscope. Cet appareil aide à visualiser deux photographies distinctes d'une scène (deux demi-stéréogrammes), prises sous des angles légèrement différents. Ces photographies sont placées dans un petit viseur spécial qui permet à chaque oeil de les voir séparément (vision isolée). Le cerveau enregistre comme normale cette différence entre les deux images et les fond en une image unique, en profondeur ou en relief (Gregory, 1966).

Mais comment se fait-il que ces barres apparaissent tantôt en profondeur, tantôt en relief? Deux types de disparité sont à l'origine de ce phénomène soit, la disparité de convergence et de divergence (Richards, 1970). Lorsqu'un observateur voit un objet situé encore plus loin que le point sur lequel il fixe son regard, l'indice de disparité est divergent parce que l'observateur aura à faire diverger



ses yeux pour les fixer sur cet objet situé plus loin. De même, un indice de disparité convergent engendre la perception de quelque chose se situant plus près de l'observateur que le point sur lequel est fixé son regard. L'observateur aura à faire converger ses yeux pour les fixer sur cet objet situé plus près (Frisby, 1981).

Dans l'expérience de Wheatstone, si une barre est déplacée du côté temporal, elle diverge de sa jumelle présentée à l'autre oeil. Il s'agit de disparité divergente. Par contre, si elle est déplacée du côté nasal, elle converge par rapport à son homonyme de l'autre oeil. La disparité est alors convergente (Kaufman, 1974). La raison pour laquelle des changements dans des directions opposées produisent des effets opposés est simplement géométrique. Des surfaces en retrait produisent, justement, une sorte de changement protubérant dans les images rétiniennes de scènes authentiquement tridimensionnelles. Le cerveau se sert de ce fait et engendre des perceptions de profondeur et ce, à partir d'une image à plan unique (Frisby, 1981).

### Les stéréogrammes de Julesz

Les deux dernières décennies ont vu de grandes percées dans la compréhension de la stéréopsie. Au coeur de ces développements se trouve l'exploitation par Bela Julesz, du stéréogramme de points aléatoires, produit par ordinateur (Kaufman, 1979). Un exemple est présenté dans la figure 3. Si l'observateur possède une vision binoculaire normale, il percevra la profondeur de la façon illustrée par le

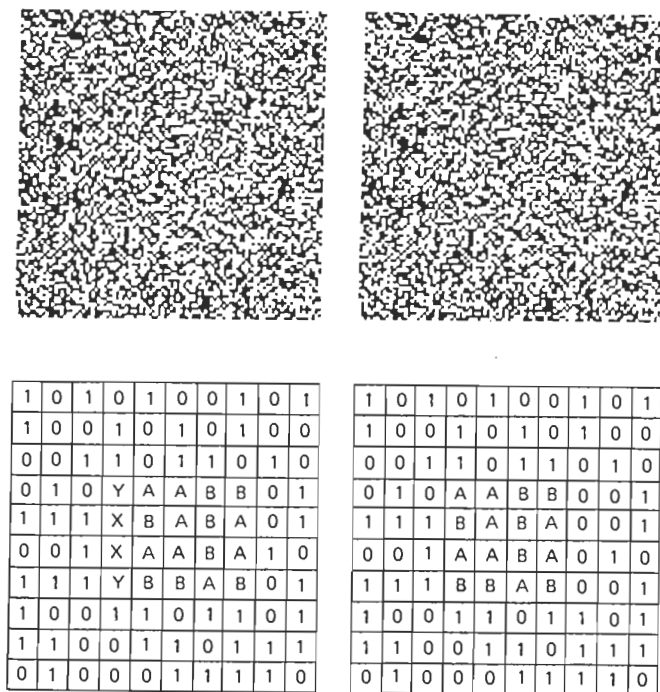


Fig. 3- Le stéréogramme fait de points distribués au hasard inventé par Julesz. Les deux demi-stéréogrammes composant le stéréogramme sont identiques sauf que la région centrale du demi-stéréogramme de gauche a été légèrement déplacée vers la droite par rapport à cette région dans le demi-stéréogramme de droite. Le déplacement est illustré par les lettres dans les matrices présentées sous le stéréogramme (dans Julesz 1971).

croquis au-dessous des matrices.

Mais comment cette illusion de profondeur survient-elle? Bien que les deux demi-stéréogrammes paraissent identiques ils renferment, en réalité, un indice de profondeur de disparité binoculaire qui imite celui qui pourrait être produit par une authentique surface proéminente. En fait, chaque demi-stéréogramme possède en lui-même un carré qui est déplacé en fonction de la surface correspondante de l'autre demi-stéréogramme. La description qui suit sur la formation d'un stéréogramme de Julesz permet de mieux comprendre ce phénomène.

La première étape dans la fabrication d'un stéréogramme de points aléatoires est de créer une pièce de texture visuelle aléatoire. Ce qui importe n'est pas la forme des éléments de composition mais le fait que les points soient distribués de façon aléatoire. Ainsi, l'image garantit que la zone où il existe une disparité ne pourra pas être perçue lorsque chaque demi-stéréogramme sera scrutée séparément (Frisby, 1981).

Lorsqu'une pièce de texture aléatoire a été réalisée, l'étape suivante consiste à faire de cette pièce, deux copies qui paraissent être identiques mais qui seront sensiblement différentes. Ces copies deviendront les deux demi-stéréogrammes. Dans l'une ou l'autre, une certaine partie de texture aléatoire est déplacée horizontalement en fonction de la surface correspondante dans l'autre demi-stéréogramme, et en général dans une direction différente pour chaque demi-stéréogramme. Ce processus est illustré à la figure 4, dans le cas d'un stéréogramme

de points aléatoires qui possède une zone de disparité de forme carrée. Cette zone est définie par D, et son fond par F. Déplacer la zone D a pour conséquence de voir une certaine proportion de texture "recouverte" donc inaccessible à la vue. Les déplacements produisent également des trous (X et Y) créés dans chaque demi-stéréogramme, mais ils sont comblés par de nouvelles textures aléatoires. Il s'avère ainsi impossible de voir, en observant chaque demi-stéréogramme, quelle zone a été déplacée. C'est comme si un carré pointillé était tenu devant un fond pointillé de telle sorte que les limites de ce carré se mêlent si parfaitement à la texture du fond, qu'elles deviennent invisibles. Cependant, quand les deux images sont perçues simultanément, mais chacune étant présentée à un seul oeil à travers un stéréoscope, il s'en suit une fusion binoculaire au niveau du cortex et le sujet perçoit les parties disparates comme étant un stimulus qui se détache d'un fond homogène. Il y a une impression de profondeur qui se crée (Julesz, 1971; Frisby, 1981).

Chaque demi-stéréogramme ne contient aucune information concernant cette région où les points sont déplacés. Il n'y a pas d'indice monoculaire pour la perception de la forme (i.e. la perspective linéaire, la superposition, l'ombre, etc), donc aucun objet ne peut être perçu dans les demi-stéréogrammes vus seuls. Cette information n'est connue que par la relation existante entre les deux demi-stéréogrammes. En d'autres termes, ce n'est qu'après la fusion que la forme binoculaire est perçue (Bishop, 1981).

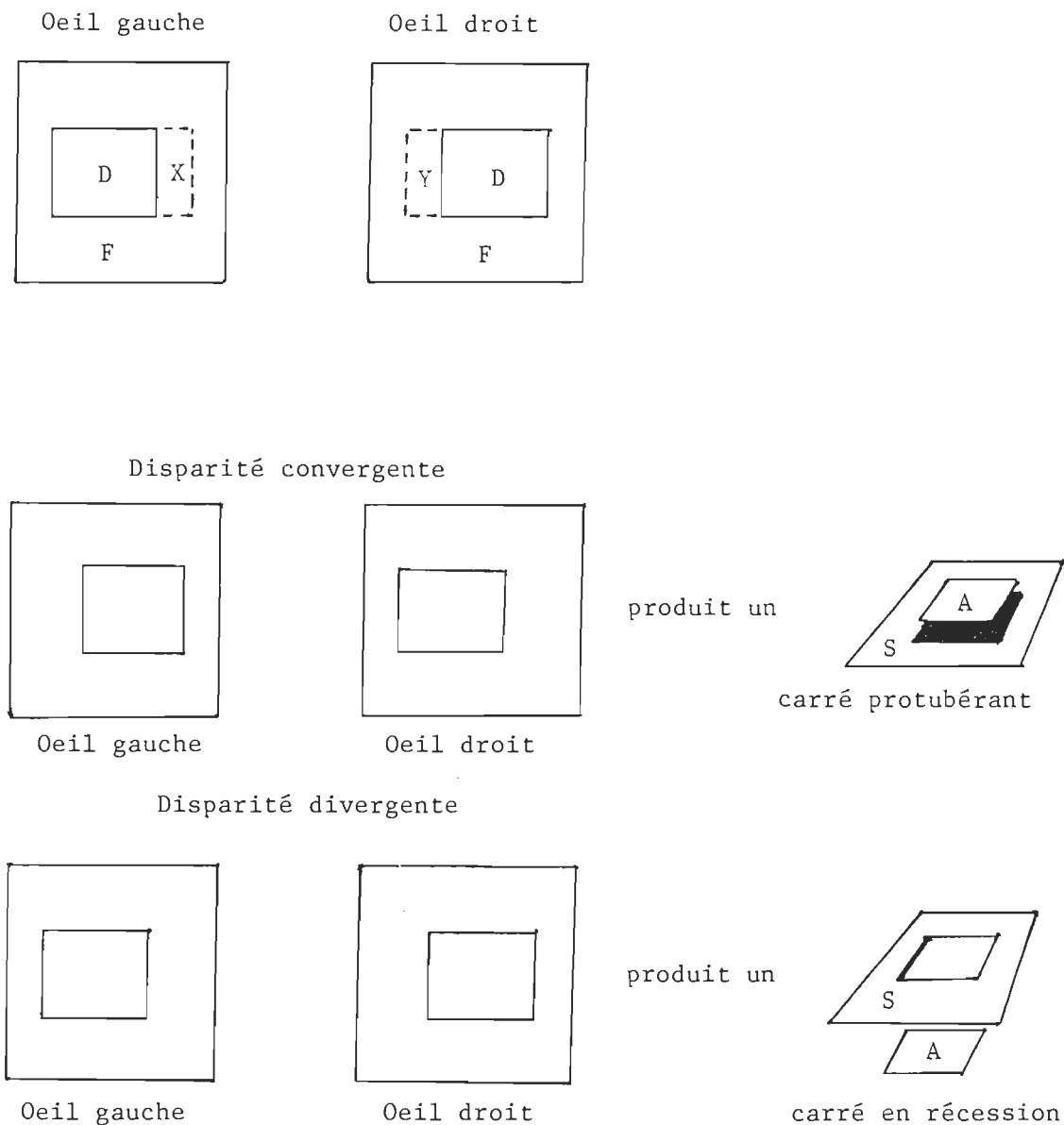


Fig. 4- La fabrication d'un stéréogramme de points aléatoires. Il s'agit de la zone D et son fond F. Le déplacement de la zone D dans chaque demi-stéréogramme fait qu'une certaine partie de la texture du fond se trouve couverte, donc dissimulée à la vue. Ce déplacement provoque également des trous (X et Y) dans chaque demi-stéréogramme qui sont remplis par une nouvelle texture faite de points distribués aléatoirement. Ainsi, les trous n'apparaissent pas dans le produit fini (dans Frisby 1981).

Dans certains stéréogrammes, la couleur a été ajoutée pour générer des contours perceptibles monoculairement et pour produire la perception de la profondeur même quand les couleurs ont le même degré de luminosité. Lu et al. (1972) ont démontré que la perception de la profondeur est possible avec des stéréogrammes de points aléatoires colorés. Ils présentaient ces stéréogrammes dans lesquels des carrés rouges et verts étaient distribués aléatoirement pour être pairés selon une luminosité égale. La variable qui provoquait la perception de la profondeur n'était pas autant la couleur que l'arrangement des points. Néanmoins, la détection était basée seulement sur les différences de couleur qui provoquaient des images isolées (Julesz, 1971). En effet, deux demistéréogrammes, l'un rouge et l'autre vert, sont perçus à travers des lunettes composées d'un filtre rouge pour l'oeil droit et d'un vert pour l'oeil gauche. Le filtre rouge ne laisse passer que la lumière rouge et le vert, que la lumière verte. Ainsi, l'image verte apparaît comme sombre pour l'oeil droit parce que le vert reflète peu de lumière rouge et ne traverse qu'en faible partie le filtre rouge. Le même phénomène se produit pour l'oeil gauche, il voit l'image imprimée rouge comme sombre. Si le centre de l'image perçue par chaque oeil est déplacé en direction du nez, la disparité est convergente. Il résulte qu'au centre du stéréogramme, l'observateur aperçoit un carré flottant à quelques centimètres au-dessus de son fond, la disparité imitant celle de la vue d'un cadre sur un mur. Par contre, lorsque les lunettes sont inversées, un renversement de la profondeur survient parce que cette inversion échange les vues que les deux yeux reçoivent, de sorte que la

disparité imite à présent celle qui sera produite dans les deux yeux par la vue d'une vraie fenêtre à travers de laquelle on verrait un carré éloigné (voir figure 4). Cet effet est produit parce que l'image rouge dont le centre est déplacé vers la gauche est perçue par l'oeil gauche et l'image verte dont le centre est déplacé vers la droite est perçue par l'oeil droit. Le déplacement du centre des deux demi-stéréogrammes est devenu temporal et la disparité est alors divergente (Julesz, 1974; Frisby, 1981).

Il est à noter que, lorsqu'un stéréogramme de points colorés est observé sans lunettes rouge/vert, aussi bien d'un oeil que des deux, la zone de disparité peut souvent être détectée. Mais cela n'est qu'un sous-produit de l'impression d'une image sur l'autre. Dès que le stéréogramme est regardé avec les lunettes, ce phénomène disparaît. Le seul indice qui demeure quant à la forme de la zone qui est supposée être vue est la disparité entre les deux demi-stéréogrammes. Pourtant, il n'existe souvent aucune trace de la forme à voir en profondeur lorsque le stéréogramme est vu sans les lunettes rouge/vert (Gregory, 1966).

Il arrive fréquemment que les encres d'imprimerie ne soient pas parfaitement adaptées au filtre rouge ou au filtre vert, de sorte que chaque oeil reçoit une image fortement contrastée avec une autre qui l'est plus faiblement. Ce fait, peu souhaitable, tend à obscurcir l'effet de profondeur dans le cas de stéréogrammes simples faits de quelques lignes mais dans la plupart des autres cas, cela passe à peu près inaperçu. (Frisby, 1981).

L'usage des stéréogrammes de Julesz (1960) a donc fait considérablement progresser la compréhension des mécanismes stéréoscopiques. L'usage de ces stéréogrammes a en effet clairement démontré que la perception stéréoscopique est possible non seulement sans indice monoculaire (dont la perception monoculaire de la forme) mais également sans indice binoculaire autre que la disparité rétinienne. En effet, l'observateur ne peut distinguer aucun objet au sein des demi-stéréogrammes vus seuls. Cependant, lorsqu'ils sont présentés isolément pour chaque oeil, ils se fusionnent et produisent l'effet de stéréopsie. Lorsque la stéréopsie est obtenue, l'observateur peut percevoir la forme. Cette dernière observation établit que les mécanismes neurophysiologiques responsables de la stéréopsie sont indépendants et précèdent ceux de la perception de la forme (Julesz, 1971). Cette conclusion a d'ailleurs été confirmée par les études effectuées auprès d'humains (Poppel et al., 1978) et d'animaux (Kaye et al., 1981; Ptito et al., sous-presse) qui démontrent après lésion occipitale une perte de la perception binoculaire de la profondeur avec une certaine préservation de la vision de la forme. Ptito et al. (sous-presse) démontrent plus spécifiquement que la lésion des aires visuelles primaires abolit la stéréopsie à partir de stéréogrammes de points aléatoires alors que les autres fonctions visuelles demeurent intactes. La perception de la forme et la stéréopsie utilisent deux mécanismes neurophysiologiques différents. La perception de la forme serait assurée par les aires du cortex strié et la stéréopsie globale serait gérée par le système géniculo-strié. L'usage des stéréogrammes de points aléatoires a également permis de distinguer deux niveaux d'analyse de la profondeur;



la stéréopsie locale et la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz.

### La stéréopsie locale

La perception de la profondeur est tout d'abord fondée sur la base d'une corrélation point par point qui s'effectue au niveau de la description des caractéristiques du stimulus. Le cerveau fusionne les caractéristiques similaires en forme, en dimension, en contraste, en couleur, etc. Il détermine sans ambiguïté l'élément de l'image dans l'oeil gauche qui se fusionne à celui de l'oeil droit. Julesz (1971) a appliqué le terme de stéréopsie locale à ce processus de pairage où la fusion binoculaire s'effectue en fonction des caractéristiques des éléments compris dans le stimulus. Selon Julesz (1971), deux types distincts de mécanismes se rattachent à la stéréopsie locale soit, la stéréopsie fine et la stéréopsie grossière.

En 1952, Ogle a découvert ces deux niveaux distincts de stéréopsie locale à partir d'une investigation sur les disparités limites de la stéréopsie. Il déplaçait une barre en profondeur par rapport à une autre située au niveau d'un point de fixation. Le premier niveau, appelé la stéréopsie fine, opère sur des disparités relativement petites. La perception de la profondeur y est évidente et l'augmentation de la profondeur est proportionnelle à l'augmentation de la disparité. Ce niveau de stéréopsie apparaissant jusqu'à  $\pm 10'$  d'arc de disparité à partir du point de fixation, correspond à une région du champ visuel où les points qui y chutent sont vus simples, région

appelée "aire fusionnelle de Panum". Elle représente le niveau total de disparité qui peuvent être fusionner près du point de fixation sans l'aide du mouvement de l'oeil. En dehors de cette aire, les barres sont vues doubles (Bishop et Henry, 1971). Par la suite, l'augmentation graduelle de la disparité provoque la diplopie, donnant naissance à un second niveau, la stéréopsie grossière. A ce stade, la barre peut être localisée près ou loin de l'autre faisant l'objet de point de fixation, mais la relation disparité/profondeur est perdue; la disparité devient un indice de la profondeur moins important et éventuellement, pour des disparités encore plus accentuées, ne contribue plus à la sensation de la profondeur (Ogle, 1952). Mitchell (1969, 1970) et Westheimer et al. (1956) ont déterminé que la disparité limite de la stéréopsie fine est de  $0.5^{\circ}$  d'arc. Les limites pour la stéréopsie grossière seraient situées entre  $7$  et  $10^{\circ}$  d'arc.

En outre, des travaux cliniques spécialement ceux de Richards (1970, 1971) et Jones (1977) ont permis de mettre en évidence des atteintes sélectives pour l'un ou l'autre de ces mécanismes (stéréopsie fine ou grossière). Ainsi, certains des sujets de Jones manifestant de hauts seuils de stéréoacuité (faisant appel à la stéréopsie fine) éprouvaient des difficultés à accomplir des tâches nécessitant la stéréopsie grossière. De plus, à l'intérieur même du processus de stéréopsie grossière, il est possible d'observer des patients ayant des déficits pour les disparités convergentes (croisées) mais n'éprouvant aucune difficulté dans les disparités divergentes (non-croisées).

Par ailleurs, Ogle (1962) a examiné le seuil de disparité

nécessaire pour donner un sens à la profondeur en rapport avec l'excentricité. Deux points-source de lumière sont localisés à égale distance de chaque côté du point de fixation. La séparation latérale des deux cibles peut être changée si désiré. Jusqu'à  $5^{\circ}$  d'excentricité du point de fixation, il y a une augmentation graduelle du seuil stéréoscopique (capacité à discriminer la profondeur). Au-delà de  $5^{\circ}$ , l'accroissement du seuil stéréoscopique est rapide et même qu'à une excentricité de  $10^{\circ}$ , la discrimination de la profondeur est possible. La stéréoaucuité diminue avec l'augmentation de l'excentricité.

Blakemore (1970) remarque plus précisément que jusqu'à  $1.5^{\circ}$  de disparité absolue d'un côté ou de l'autre de l'horoptère (axe concave face à l'observateur sur lequel sont distribués les points correspondants), la discrimination de la profondeur est plus difficile en vision centrale et périphérique qu'en vision para-centrale.

#### La stéréopsie à partir des stéréogrammes de Julesz

Avec l'utilisation des stéréogrammes de Julesz, l'information de la profondeur n'est plus fondée que sur la base d'une corrélation point par point mais carré par carré qui s'effectue au niveau de l'ensemble des caractéristiques du stimulus, à chaque paire de points étant assignée une valeur de disparité de position. C'est pourquoi, la stéréopsie à partir de stéréogrammes de points aléatoires se distingue de la stéréopsie locale (Julesz, 1971).

Dans la perception binoculaire de la profondeur à partir de

stéréogrammes de points aléatoires, Julesz a relevé le problème de l'ambiguïté qui se présente au cerveau lorsque celui-ci doit combiner les images de gauche et de droite. Comment le cerveau réussit-il à païrer les points de gauche et de droite, si la fusion binoculaire s'effectue au niveau de la description des caractéristiques? Il avait jadis proposé que le cerveau fusionne les caractéristiques similaires en forme, en dimension, en contraste, en couleur, etc., et il avait appelé ce processus la stéréopsie locale. Cependant, lorsque deux demi-stéréogrammes ont une texture formée de petits points distribués aléatoirement, chacun étant similaire à tous les autres en forme, en taille, en contraste et en couleur, etc., comment le cerveau peut-il décider quel point du demi-stéréogramme de gauche doit fusionner avec tel point dans celui de droite, puisque n'importe quel point de l'image de gauche peut théoriquement être fusionné à n'importe quel point dans l'image de droite? Néanmoins, le cerveau résoud cette ambiguïté présentée par le stimulus qui est formé de petits points de haute densité et dénués de forme reconnaissable. Il fusionne les deux figures avec facilité et donne exactement la perception de la forme attendue. Dans un tel cas, lorsqu'il y a équivoque à savoir quel élément dans un demi-stéréogramme correspond à l'autre, il s'effectue une évaluation des différentes paires possibles de correspondance et une sélection d'un ensemble de paires qui correspondent par leurs valeurs de profondeur fournissant les données suffisantes à la reconnaissance d'une forme tridimensionnelle. Quand un stéréogramme de points aléatoires est stéréoscopiquement fusionné, le sujet a pendant quelques secondes une impression de voir plusieurs petits points en désordre. Cependant, une transition du

désordre à l'ordre s'effectue. La corrélation binoculaire qui était jusqu'alors absente entre les composantes des deux demi-stéréogrammes se produit et une surface complexe apparaît en profondeur. Donc, selon Julesz (1971) le cerveau évalue les différents éléments correspondants du stéréogramme et sélectionne une caractéristique de pairage qui s'étend sur tout l'ensemble du stéréogramme.

Julesz (1971) a étudié les seuils de disparité avec des stéréogrammes de points aléatoires. Selon lui, la stéréopsie peut encore être perçue lorsque les deux demi-stéréogrammes sont séparés des rétines par plus de  $2^{\circ}$  d'arc de disparité rétinienne ( $1^{\circ}$  de chaque côté). Au-delà, la stéréopsie disparaît. Il n'est donc pas étonnant que Fender et Julesz (1967) aient été capables de préserver la stéréopsie quand les stéréocibles binoculairement stabilisées étaient présentées à une disparité absolue de  $2^{\circ}$  d'arc. Les sujets parvenaient à percevoir la profondeur même avec des images qui divergeaient à plus de  $10^{\circ}$  d'arc du centre de l'oeil.

Grabowski (1983) a étudié les différences par hémichamp de la perception stéréoscopique de la profondeur à partir de stéréogrammes de Julesz. Les résultats ont montré un meilleur niveau de détection de la profondeur dans le champ visuel gauche que dans le droit. De plus, la perception convergente des stimuli était meilleure quelque soit le champ visuel. Selon l'auteur, il y aurait une supériorité de l'hémisphère droit dans la perception stéréoscopique de la profondeur.

Un grand nombre de travaux psycho-physique ont confirmé la dissociation entre ces diverses formes de stéréopsie (fine et grossière;

et la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz) et ont contribué à en décrire les diverses caractéristiques (pour une revue; Bishop, 1981).

Pendant que Julesz continuait à développer ses stéréogrammes et à préciser sa théorie, plusieurs études se sont concentrées sur l'acheminement de l'information visuelle, autant monoculaire que binoculaire, vers le cerveau. A ce niveau, il apparaît important de décrire brièvement les structures responsables de l'acheminement de l'information visuelle avant d'entreprendre la revue de diverses études psycho-physiques concernant la stéréopsie.

### Voies d'acheminement de l'information visuelle

#### A. Premier relai: la rétine

La rétine est une couche de cellules située sur la surface interne du globe oculaire. Elle renferme les récepteurs sensibles à la lumière qui sont responsables de la description d'une scène. L'image observée parvient à la couche des cellules réceptrices de la rétine et selon sa luminosité, déclenche l'activité des différentes cellules nerveuses de la rétine, qui envoient les messages au cerveau. Ces cellules réceptrices sont les cônes et les bâtonnets qui existent au nombre d'environ 126 millions dans chaque oeil. Néanmoins, seulement environ 800,000 fibres nerveuses quittent chaque oeil, véhiculant les messages au cerveau par l'intermédiaire du nerf optique. Il est donc clair que chaque cellule n'est pas reliée par un seul câble au cerveau. Une fois stimulées, les cellules réceptrices expédient des signaux aux

cellules bipolaires, qui à leur tour envoient des signaux aux cellules ganglionnaires. Ces dernières sont de deux types: les cellules horizontales qui véhiculent des messages latéraux au niveau des jonctions cellules réceptrices-cellules bipolaires et les cellules amâcrines qui font de même aux jonctions cellules bipolaires-cellules ganglionnaires (Norman, 1980; LeGrand, 1960).

De l'oeil, les cellules ganglionnaires se prolongent par des fibres optiques dessinant un trajet courbe jusqu'à la pupille. Ces fibres sont très minces dans la rétine (0.5u à 5u de diamètre). Une fois sorties de l'oeil, elles se réunissent pour former le nerf optique, leur diamètre moyen étant de l'ordre de 2u. Les fibres provenant de la fovéa occupent à elles seules près du tiers de la section du nerf (LeGrand, 1960).

Les fibres du nerf optique transmettent l'influx nerveux issu des ganglionnaires, elles-mêmes excitées par les bipolaires et celles-ci par les cellules réceptrices (Pirenne, 1972).

#### B. Deuxième relai: le chiasma optique

Le chiasma optique est le croisement des deux nerfs optiques, sensiblement à mi-chemin de leur longueur totale. Les fibres des moitiés nasales des rétines se croisent pour former le chiasma optique tandis que les moitiés temporales des fibres restent ipsilatérales (Berlucchi et al., 1969; Hubel et Wiesel, 1967). Il en résulte que les messages sensoriels provenant de la moitié gauche du champ visuel de chaque oeil (fibres temporales de la rétine de droite et nasales de la

répine de gauche) sont transportées en totalité par la bandelette optique droite. C'est l'hémisphère cérébral droit qui reçoit ces messages. La décussation partielle du chiasma optique a pour but de rassembler dans un même hémisphère cérébral les renseignements visuels qui proviennent d'une région donnée de l'espace (Carpenter, 1977).

### C. Troisième relai: le corps genouille latéral et les radiations optiques

A la sortie du chiasma, les fibres forment des cordons aplatis nommés bandelettes optiques et 80% des ces fibres se terminent dans deux ganglions appelés corps genouillés. Le reste se partage entre d'autres organes, dont les turbercules quadrijumeaux qui seraient le centre de coordination des mouvements des yeux (Pirenne, 1972). Les corps genouillés constituent un important relai dans la transmission de l'influx nerveux visuel, relai multiplicateur puisqu'il s'y dégage de cinq à six fois plus de fibres qu'il y en arrive. C'est dans le corps genouillé que s'effectue la troisième et dernière synapse, la première ayant lieu entre les cellules réceptrices et bipolaires, la seconde entre bipolaires et ganglionnaires (LeGrand, 1960; Pirenne, 1972).

Dans le corps genouillé latéral, chaque fibre se termine et établit des connections avec le corps cellulaire de nouvelles fibres qui constituent les radiations optiques du cerveau. Il n'y a pas de relations croisées, ni de recouvrement dans le corps genouillé latéral, aussi le trajet correspondant à chaque fibre du nerf optique reste séparé dans les radiations optiques (LeGrand, 1960).



#### D. Le cortex visuel

Après le corps genouillé latéral, le message sensoriel est acheminé par les radiations optiques, qui se terminent dans l'écorce cérébrale ou cortex, dans la région située tout à fait à la partie postérieure et en bas du cerveau; cette région est délimitée par une strie d'un blanc nâcré, aussi nommée aire striée et elle entoure un repli de la surface interne du cerveau, la scissure calcarine. L'information qui arrive du corps genouillé latéral se projette plus précisément sur la couche IV de l'aire 17 (Hubel et Wiesel, 1962) renfermant plusieurs cellules qui répondent à des caractéristiques précises, appelées "cellules simples". En général, les cellules simples ne répondent que si l'orientation du stimulus est optimale et sans cette condition, il peut y avoir absence de réponse. La particularité de la cellule simple est que son champ récepteur peut être divisé en sous-régions excitatrices et inhibitrices dont les effets comparatifs s'additionnent directement. Cela signifie que la cellule simple est très exigeante en ce qui concerne la position selon laquelle un stimulus tombe sur son champ récepteur. Ce type de cellules répond uniquement lorsque le stimulus s'adapte aux régions excitatrices et inhibitrices; sa réaction dépend de la position exacte du stimulus (Hubel et Wiesel, 1959). Par exemple, si un stimulus stationnaire tel qu'une tache de lumière intense est envoyée dans les régions spécifiques du champ récepteur sensibles à cette tache, la cellule devient excitée et envoie une rafale d'impulsions. De même, si une tache est envoyée dans certaines régions du champ récepteur, la cellule se trouve inhibée i.e. qu'elle cesse d'émettre des impulsions, ou son niveau d'émission se

situe pour le moins en-dessous de son niveau normal d'activité spontanée (Frisby, 1981).

Les cellules simples sont regroupées verticalement en colonnes. Ainsi, pour la sensibilité à l'orientation du stimulus, l'axe d'orientation est donné par la limite entre les zones excitatrices et inhibitrices. Cette limite étant toujours verticale, les stimuli optimaux sont donc verticaux. Par ailleurs, si des stimuli non-verticaux tombent sur les champs récepteurs des cellules simples, la réponse est réduite en fonction du montant par lequel le stimulus non-vertical diverge de la verticale. De sorte que, pour une barre horizontale, la cellule reçoit autant d'inhibition que d'excitation et sa fréquence de décharge se trouve réduite à son niveau d'activité spontané (Hubel et Wiesel, 1963).

Les colonnes de cellules simples se regroupent pour former une hypercolonne et fournissent un grand nombre de mesures des caractéristiques de l'image d'entrée. A partir de ces mesures, différentes descriptions des caractéristiques sont élaborées. Lorsqu'elles sont complétés, le type, l'orientation, le flou et le contraste de la caractéristique sont connus. Ces cellules sont sensibles à des particularités telles que des barres, des fentes, des bords (Hubel et Wiesel, 1959, 1962, 1963). Cependant, pour Marr (1978), les cellules simples sont plutôt perçues en tant que mesures de l'image d'entrée dont le rôle est un premier pas vers l'identification de la caractéristique. Selon Marr, un stade ultérieur d'interprétation des mesures de la cellule simple est nécessaire avant l'obtention d'une description des caractéristiques. Il

paraît hautement probable, quoiqu'incertain, que les processus d'interprétation aient lieu au sein de chaque hypercolonne, afin que le cortex strié dans son ensemble envoie à d'autres localisations cérébrales les informations sur la nature des caractéristiques qui sont présentées dans chaque sous-zone du champ de vue. Le code par lequel ces informations sont transmises n'est pas encore connu (Frisby, 1981).

Hubel et Wiesel (1969, 1978: voir Frisby, 1981) ont trouvé dans les hypercolonnes de l'aire 17 d'autres types de cellules qui n'ont pas les mêmes propriétés que les cellules simples. Il s'agit des cellules complexes. La particularité d'une cellule complexe est qu'elle réagit également au stimulus optimal sauf qu'elle y répond quel que soit l'endroit du champ récepteur où il tombe. Ce stimulus optimal peut aussi bien être une barre, une fente ou un bord, tout comme pour la cellule simple mais il doit toujours suivre l'orientation de la cellule complexe en question. Comme la cellule simple, la cellule complexe réagit lorsque le signal approprié se déplace de leur champ récepteur et souvent, elle a une direction préférée. Une autre caractéristique de la cellule complexe est qu'elle possède des champs récepteurs plus grands que les cellules simples. Elle répond souvent à une seule direction de mouvement. Cette propriété a amené à suggérer que les cellules complexes soient impliquées dans la perception des mouvements ou des déplacements. Ainsi, le type, la direction et la largeur du signal excitateur déterminent de façon décisive la réponse d'une cellule complexe alors que, l'endroit où le stimulus optimal tombe sur le champ récepteur d'une cellule complexe est moins important.

De plus, certaines cellules du cortex strié sont préférentiellement stimulées par un seul oeil et sont appelées les cellules monoculaires. D'autres sont activées binoculairement, ce qui veut dire qu'elles répondent à des stimuli dans chacun des yeux et sont appelées les cellules binoculaires. En effet, Hubel et Wiesel (1962) ont découvert que chaque neurone binoculairement activé a deux champs réceptifs dont un pour chaque oeil. Ces champs sont à peu près de même grandeur, de même arrangement spatial et sont localisés dans l'hémichamp contrôlatéral de chaque oeil. En outre, parmi ces cellules, certaines sont sensibles à la disparité rétinienne. En effet, Barlow, Blakemore et Pettigrew (1967), et Nikara, Bishop et Pettigrew (1968) ont décrit un groupe de cellules dans le cortex visuel du chat qui répond de manière sélective à des stimulations horizontales disparates des deux rétines, donc à la stéréopsie. Ces auteurs en ont conclu que la stéréopsie proviendrait de la projection des deux rétines sur les cellules binoculaires. Hubel et Wiesel (1970) ont entrepris de trouver des cellules similaires chez le singe macaque. Ils constatèrent que 43% des cellules de l'aire 18 avaient des propriétés spéciales et les appelèrent: "cellules binoculaires de la profondeur". La stimulation d'un seul oeil ne donnait aucune réponse au niveau de ces cellules, alors qu'une stimulation appropriée des deux yeux engendrait des réponses de la part de ces mêmes cellules. Un certain nombre d'entre elles répondait de façon maximale lorsque le stimulus était présenté de façon à stimuler au même moment des régions rétiniennes correspondantes. Les autres cellules répondaient de façon optimale lorsque le stimulus était associé à des disparités de position bien définies dans le champ réceptif de

chaque oeil. De plus, Barlow et al. (1967) et Pettigrew et al. (1968), ont confirmé ces résultats. Ils ont démontré que différentes cellules sous-tendent des disparités spécifiques, soit qu'elles répondent à des disparités de convergence ou de divergence.

Par ailleurs, de récentes données électrophysiologiques obtenues auprès de singes éveillés appuient l'existence et les distinctions concernant les mécanismes stéréoscopiques locaux tels que stéréopsie fine, grossière et la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz. Continuant dans la même optique que Hubel et Wiesel, Poggio et Fisher (1979) ont entrepris de chercher des cellules binoculaires dans les aires 17 et 18 du singe macaque. Ils évaluèrent les propriétés des neurones striés et pré-striés par l'implantation permanente d'électrodes en présentant des stimuli en profondeur. La plupart des neurones dans le cortex strié fovéal et dans le cortex pré-strié semblaient recevoir un input binoculaire et de plus, 84% de ces neurones étaient sensibles à la localisation des stimuli en profondeur, à l'orientation d'une barre dans le champ visuel et dans un grand nombre à la direction du mouvement. Les auteurs trouvèrent aussi que les cellules sensibles à la profondeur étaient responsables de la partie plus centrale ( $0.5^{\circ}$ ) du champ visuel. Ces cellules définies par Hubel et Wiesel comme étant ordinaires (donnant des réponses égales à des stimulations séparées de chaque oeil) seraient selon Poggio et Fisher (1977) sensibles à la profondeur; ils les ont appelées "tuned excitatory". En d'autres mots, ces cellules représentant une petite région de l'espace autour du point de fixation, répondraient faiblement à une stimulation extérieure à cette région et donc seraient l'équivalent cortical de l'aire fusionnel-

le de Panum permettant la vision binoculaire d'une seule image. De plus, ces cellules réagiraient aux disparités horizontales des deux images rétiniennes ce qui équivaut à la capacité de ces cellules à déceler les disparités. Cependant, ces cellules ne seraient sensibles qu'à de petites disparités ( $10^0$  d'arc) et plus précisément à la stéréopsie fine (Poggio, 1980, 1984). Poggio et al. (1977) et Poggio et al. (1981) ont identifié un second type de neurones binoculaires de la profondeur qui répondent à des disparités beaucoup plus larges et qui sont sensibles à des stimuli situés au-delà du point de fixation: d'une part, les neurones "far" qui réagissent à des disparités de divergence et d'autre part les neurones "near" qui répondent à des disparités de convergence. Ces cellules peuvent être associées au processus de stéréopsie grossière (Poggio, 1984). Donc, ces trois types de neurones répondraient à la stéréopsie fine et grossière et par conséquent, seraient reliés à la stéréopsie locale. Cependant, ces catégories de neurones ne fournissent pas d'information sur la façon dont le cerveau résout le problème d'ambiguïté dans le pairage d'éléments similaires, sans indices monoculaires, comme c'est le cas avec les stéréogrammes faits de points distribués au hasard. Julesz (1971) avait spéculé que le mécanisme responsable de la résolution de cette ambiguïté serait associé à la perception de stéréogrammes de Julesz. Récemment, Poggio et al. (1984) ont découvert des cellules qui répondraient à la présentation de stéréogrammes de Julesz.

Voies d'acheminement de l'information binoculaire  
reliées à la stéréopsie

Il semble que le chiasma optique et le corps calleux soient les deux voies impliquées dans l'acheminement de l'information binoculaire de la profondeur, la stéréopsie.

A. Le chiasma optique

La rétine de l'oeil est divisée en deux champs récepteurs qui sont, l'hémirétine nasale et l'hémirétine temporale. Grâce à elles, les champs visuels se projettent dans l'hémisphère cérébral contralatéral par le biais du chiasma optique. En effet, les deux hémichamps visuels droits (perçus par l'hémirétine nasale droite et temporale gauche) se projettent dans l'hémisphère cérébral gauche. Les deux hémichamps visuels gauches (perçus par l'hémirétine nasale gauche et temporale droite) se projettent dans l'hémisphère cérébral droit. Ainsi, le champ visuel gauche est perçu par l'hémisphère droit et celui de droite par l'hémisphère gauche. Donc, les deux hémisphères cérébraux reçoivent des images différentes parce que l'hémirétine nasale d'un oeil ne perçoit pas la même chose que la temporale de ce même oeil. Par contre, il arrive que dans certains cas, les deux hémisphères cérébraux captent des images identiques. Effectivement, il existe au centre de chaque rétine un débordement d'une hémirétine sur l'autre qui est appelé "recouvrement naso-temporal". Ce recouvrement forme une mince ligne qui passe par le méridien vertical de chaque oeil et sépare l'hémirétine nasale de la temporale. Les points rétiniens de chaque oeil qui sont distribués sur cette ligne projettent leurs axones aux deux hémisphères cérébraux via

le chiasma optique. Dans ce cas, l'hémirétine nasale d'un oeil perçoit la même image que l'hémirétine temporale de ce même oeil. Ainsi, les cellules binoculaires de chaque hémisphère cérébral dont le champ récepteur se situe sur le méridien vertical de chaque oeil reçoivent des images des deux yeux, de l'un par la voie contralatérale et de l'autre par une voie ipsilatérale (Bishop, 1981).

Stone (1966) fut le premier à identifier le recouvrement naso-temporal par la section, chez le chat, de l'une des voies optiques et l'observation de la dégénération des cellules ganglionnaires de la rétine. Stone (1973) avait par la suite montré l'existence d'un tel recouvrement chez le singe auquel il avait sectionné la voie optique droite et auquel, six mois plus tard, du bleu de méthylène avait été injecté. La dégénération des cellules ganglionnaires était évidente dans l'hémirétine nasale de l'oeil gauche et dans l'hémirétine temporale de l'oeil droit, toutes deux bleuies par la solution. La couche rétinienne de l'oeil gauche était inversée de la gauche vers la droite et superposée à celle de l'oeil droit. Le recouvrement naso-temporal pouvait alors être observé par un débordement de l'hémirétine nasale sur la temporale et vice-versa. Ce recouvrement mesure  $1^{\circ}$  de largeur en considérant seulement les corps cellulaires du méridien vertical.

Le recouvrement naso-temporal a également été observé chez le chat au niveau du corps genouillé latéral (Sanderson et al., 1971) et à la frontière des aires 17-18 du cortex visuel (Blakemore, 1970; Leicester, 1978). Le recouvrement naso-temporal ne persiste pas à la section du chiasma optique, mais d'après Leicester (1978), il survit à l'absence



de corps calleux. Selon Berlucchi (1972), le recouvrement naso-temporal jouerait un rôle dans le mécanisme de stéréopsie fine, alors que la stéréopsie grossière pourrait être reliée aux fibres nerveuses qui se croisent entre les deux hémisphères cérébraux via le corps calleux.

## B. Le corps calleux

Bien que le système geniculo-strié soit la principale voie d'acheminement d'information visuelle, il y a aussi un acheminement inter-hémisphérique de cette information via le corps calleux (Hubel et Wiesel, 1970). Le corps calleux constitue la principale commissure reliant les deux hémisphères cérébraux (Arnoux, 1966; Barr, 1972). Il est formé de nombreuses fibres ( $10^7$ ) dont le diamètre moyen de chacune d'elles est de 10 $\mu$  (Brion et Judynak, 1975). On en distingue trois parties; la partie antérieure, le "genou" effilé à son extrémité qui relie les lobes frontaux des deux hémisphères; le tronc qui constitue les radiations moyennes et enfin, le "splénium", une partie un peu plus massive qui forme la partie postérieure. Les fibres reliant les lobes occipitaux empruntent la région postérieure. Les 2/3 postérieurs sont traversés par les fibres qui unissent les régions temporales en avant et pariétales en arrière. La majeure partie des transmissions d'influx nerveux inter-hémisphériques doit donc emprunter le corps calleux sauf pour les informations amygdalohypocampiques des circonvolutions temporales moyennes et inférieures dont la liaison est assurée par la commissure blanche antérieure. Cette dernière ainsi que la partie postérieure du corps calleux assurent l'interconnexion des aires inférieures du cortex associatif visuel (Karol et Pandya, 1971).

### Travaux électrophysiologiques et comportementaux

Parallèlement à ces travaux, plusieurs études ont été menées afin de vérifier l'importance de ces voies visuelles qui sont présumément reliées à la stéréopsie (Joshua et Bishop, 1978; Payne et al., 1980; Cynader et al., 1978, 1979; Léporé et al., 1982, 1983; Berlucchi et Rizzolatti, 1968; Antoni et al., 1983).

#### A. Le chiasma optique

La décussation partielle des fibres rétiniennes au niveau du chiasma optique semble pouvoir assurer à elle seule la transmission de l'information monoculaire sur les cellules binoculaires. A cet effet, les travaux de Hubel et Wiesel (1967) ont pu mettre en évidence que la section du chiasma optique réduit considérablement le nombre de cellules binoculaires. Berlucchi et Rizzolatti (1968) ont observé cette réduction au niveau des aires 17 et 18 du cortex visuel.

Au niveau comportemental, les effets d'une section de cette structure sur la stéréopsie ont été étudiées. Chez le chat, une section du chiasma optique affecte les seuils de stéréoacuité (Timey et Elberger, rapporté par Elberger, 1984) ou la discrimination de stéréogrammes de Julesz (Lepore et al., sous presse). Dans l'expérience de Lepore et al., des chats ayant appris à discriminer entre deux demi-stéréogrammes de Julesz ont par la suite subi une section du chiasma optique. Les résultats ont indiqué que la section de cette structure réduit la capacité des animaux de discriminer la stéréopsie.

Par ailleurs, Blakemore (1970b) a étudié le rôle du chiasma

optique dans une tâche de stéréopsie locale où les stimuli étaient présentés à proximité du point de fixation selon des disparités variant entre  $0.5^{\circ}$  et  $7^{\circ}$  d'arc. Dans cette étude, les sujets pouvaient faire des discriminations convergentes car les images des stimuli chutaient sur l'hémirétine temporale de chaque oeil et se projetaient séparément à chaque hémisphère. Par contre, le sujet ne pouvait pas faire de discrimination divergente à cause de la section du chiasma optique. Néanmoins, les sujets réussissaient à faire une discrimination convergente. Blakemore concluait qu'il existe un cheminement inter-hémisphérique binoculaire soit le corps calleux. A la lumière de ces travaux, il semble que le chiasma optique joue un rôle déterminant dans la vision divergente en stéréopsie locale et dans la perception de la profondeur à partir de stéréogrammes de Julesz. Cependant, le chiasma optique n'est pas la seule structure à assumer le rôle de la transmission de l'information monoculaire sur les cellules binoculaires puisque les cellules enregistrées dans le corps calleux répondent également à une stimulation binoculaire (Hubel et Wiesel, 1967).

## B. Le corps calleux

Dans les travaux de Berlucchi et Rizzolatti (1968), bien que la section du chiasma optique réduisait le nombre de cellules binoculaires, seule la section additionnelle du corps calleux rendait monoculaires toutes les cellules enregistrées. Donc, le corps calleux joue aussi un rôle important dans le mécanisme perceptuel binoculaire (Hubel et Wiesel, 1967).

Au niveau comportemental, les effets d'une section du corps calleux sur la stéréopsie ont également été étudiées. Chez le singe, la section du corps calleux ne modifie pas les seuils de stéréoacuité (Cowey et Wilkinson, rapporté par Cowey et al., 1979); toutefois les effets de la callosotomie sur la perception des stéréogrammes ou même sur la binocularité en générale ne sont pas encore connus chez le singe. Quant à l'homme, les résultats divergent considérablement selon les méthodes employées. Ainsi, les seuils de stéréoacuité et la discrimination de stéréogrammes semblent normaux chez les patients au cerveau divisé (Bridgeman et al., 1945; Gazzaniga et al., 1962) ou chez les agénésiques du corps calleux (Ettlinger et al., 1974) alors que des déficits stéréoscopiques sont observés au niveau du méridien vertical chez ces deux types de patients (Mitchell et al., 1970, Milner et al., 1977). Blakemore (1970) avait observé ce dernier fait autant chez les sujets normaux que chez les acalleux. Il y avait un déficit en vision centrale, soit dans la région du méridien verticale, et en vision périphérique alors que les sujets pouvaient discriminer les stimuli en vision para-centrale. Il observait un effet "M" dans ses résultats. La contradiction apparente de ces résultats comportementaux s'estompe lorsque l'on stipule que des mécanismes stéréoscopiques différents étaient évalués dans ces expériences. En fait, dans les expériences de Bridgeman et al. (1945) et de Ettlinger et al. (1979), les stimuli étaient présentés selon de faibles disparités. Les tâches étaient présumément associées au mécanisme de stéréopsie fine. Dans celles-ci, l'absence de corps calleux avait très peu d'effet. Donc, il découle que le corps calleux; tel que postulé par Milner et al. (1977) doit surtout

être impliqué dans la discrimination de la stéréopsie grossière où les valeurs de disparités rétiniennes sont plus grandes qu'en stéréopsie fine et lorsque le stimulus est présenté dans la région centrale du champ visuel (Blakemore, 1970).

Cependant, compte tenu de l'ambiguïté dans le type de mécanisme stéréoscopique évalué par Blakemore (1970), le rôle du corps calleux en rapport avec la stéréopsie grossière (processus local) est demeuré obscur jusqu'à ce qu'une étude récente de Lassonde et al. (sous-presse) confirme l'hypothèse de Milner et al. (1977) concernant l'importance du corps calleux dans une tâche impliquant la stéréopsie grossière. Dans cette expérience, l'analyse intra- et inter hémisphérique de la perception binoculaire de la profondeur était étudiée chez trois groupes de sujets soit, des commissurotomisés, des callosotomisés antérieurs ou postérieurs et des agénésiques du corps calleux. Pour ce faire, deux objets différents en couleur et parfois en grandeur étaient présentés à gauche, à droite et/ou au centre du champ visuel, la distance entre les deux objets déterminant une disparité de  $0.5^{\circ}$  d'arc. Le sujet devait indiquer quel objet était le plus près de lui. Les résultats ont démontré que la section du corps calleux semblait interférer avec la perception binoculaire de la profondeur. Cette hypothèse était confirmée par la comparaison des résultats pré- et post-opératoires des sujets callosotomisés. Leur performance pré-opératoire de 90% a chuté à 65% après l'opération. Des déficits ont également été observés chez les sujets commissurotomisés et chez les sujets acalleux. Cependant, aucun déficit n'a été remarqué chez les sujets ayant subi une section antérieure du corps calleux. Les auteurs ont conclu que la

lésion chirurgicale postérieure ou l'absence de corps calleux affecte la perception binoculaire de la profondeur dans une tâche de stéréopsie grossière. Cette recherche démontrait également une meilleure capacité de stéréopsie grossière lorsque le stimulus était présenté au centre du champ visuel plutôt qu'en périphérie. Selon ces résultats, il semble que la partie postérieure du corps calleux et le degré d'excentricité de présentation du stimulus soient tous deux des facteurs déterminants en stéréopsie grossière. De plus, toujours dans l'étude de Lassonde et al. (sous-presse), les sujets avaient autant de difficulté à percevoir la distance entre deux objets lorsque ceux-ci étaient présentés au même hémisphère cérébral (condition intrahémisphérique) que lorsque les deux objets apparaissaient dans des hémisphères différents (condition interhémisphérique). Alors, le fonctionnement intrahémisphérique était également affecté par l'absence des influx calleux. Selon Lassonde et al. (1984) les déficits intra- et interhémisphériques pourrait s'expliquer par l'absence d'une influence facilitatrice des fibres calleuses sur les cellules binoculaires qui sont principalement activitées par la route thalamo-corticale. En effet, les auteurs pensent que le corps calleux, chez un individu normal, peut faciliter les réponses des cellules corticales de chaque hémisphère, influençant ainsi, la réactivité de chacun des hémisphères. Ainsi, l'absence de corps calleux provoquerait des difficultés manifestées lors des présentations unilatérales et bilatérales de même qu'une plus longue réactivité lorsque la projection visuelle est latéralisée. Des observations électrophysiologiques (Bremer, 1967; Landau et al., 1984) et comportementales (Elberger, 1982; Payne et ses collaborateurs dans Pearson et al., 1984)

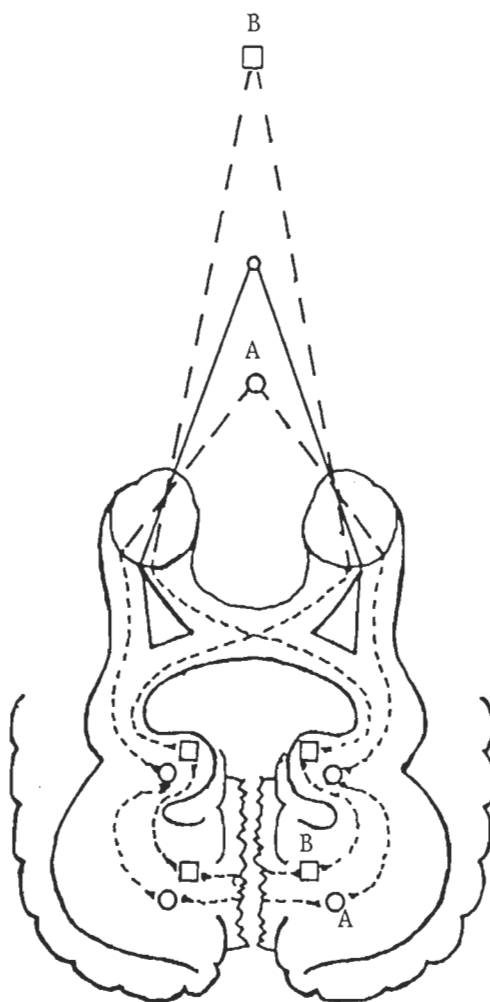


Fig. 5- Diagramme du système neurologique humain relié à la perception binoculaire de la profondeur dans le cas d'une section du corps calleux. L'élément A, représenté par un cercle, est perçu par l'hémirétine temporale de chaque oeil et l'élément B, illustré par un carré, est perçu par les hémirétines nasales. L'information visuelle de chaque élément est acheminée aux deux hémisphères cérébraux par les voies ipsilatérale (élément A) ou contralatérales (élément B). Les cellules A et B du cortex visuel gauche ne reçoivent pas l'information des cellules du cortex visuel droit vu la section du corps calleux. Dans ce cas, l'information reçue par chaque cellule est monoculaire et par conséquent, la stéréopsie s'avère impossible (Blakemore, 1970).

peuvent être cités à l'appui de cette hypothèse et confirme l'importance du corps calleux dans le domaine visuel.

A la lumière de ces résultats, les données physiologiques montrent qu'une callosotomie a très peu d'effet sur la perception de stéréogrammes sauf s'il y a en plus une chiasmatomie. En d'autres mots, le corps calleux ne contribue à la stéréopsie que dans le cas où le chiasma optique ne peut pas servir. En effet, Stone (1966) disait que le recouvrement naso-temporal ne persiste pas à la section du chiasma optique mais survit à la section du corps calleux. Alors, le chiasma optique serait responsable du recouvrement naso-temporal, lequel est sensible à l'information localisée sur le méridien vertical. Ainsi, pour des sujets acalleux non chiasmatomisés, lorsque le stimulus est situé sur le méridien vertical et par conséquent, chute sur le recouvrement naso-temporal, chaque hémisphère reçoit suffisamment d'information pour produire l'effet de stéréopsie. Dans ce cas, le corps calleux n'a pas d'importance. Le seul cas où le corps calleux serait utile se veut quand le stimulus est central et tombe sur les deux hémirétines nasales (vision divergente) ou temporales (vision convergente) mais au-delà du méridien vertical.

Il est possible de vérifier l'importance du corps calleux avec des sujets acalleux non chiasmatomisés en présentant des stimuli d'une largeur qui excède le méridien vertical pour qu'il chute non seulement sur le recouvrement naso-temporal mais risque d'impliquer le corps calleux. Stone (1966), évalue la largeur du recouvrement naso-temporal à 1° en considérant les corps cellulaires. Alors, des stimuli d'une



largeur de  $1^\circ$  présentés selon une disparité supérieure à  $0^\circ$  risqueraient d'impliquer le corps calleux. Dans ce cas, il s'agirait d'utiliser des disparités de type spatial puisque la largeur du stimulus s'avère importante. Les stéréogrammes faits de points distribués au hasard créés par Julesz (1970) sont des stimuli avec lesquels il est facile de produire des disparités spatiales. Ceux-ci sont grandement utilisés par les chercheurs. L'avantage de ces stimuli est qu'ils ne contiennent aucun indice monoculaire. De plus, il est possible d'en modifier la grandeur ou la forme sans diminuer l'effet de stéréopsie. Alors, pour vérifier l'effet du corps calleux sur la perception de stéréogramme, il s'agit de présenter des stimuli dont la largeur dépasse celle du méridien vertical.

Aucune recherche avant celle de Lepore et al. (sous presse) n'avait vérifié le rôle de cette structure au niveau de la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz. Dans leur expérience, des chats ayant appris à discriminer entre deux stéréogrammes avaient par la suite subi une section du corps calleux. Les résultats ont indiqué que la callosotomie (section du corps calleux) avait un peu d'effet sur la discrimination des stéréogrammes. Donc, le corps calleux serait légèrement impliqué dans une tâche de stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz chez le chat. Cependant, aucune recherche n'a encore vérifié cette hypothèse chez l'homme.

La présente recherche a donc pour but de vérifier l'importance du corps calleux dans une tâche de discrimination de la profondeur à partir de stéréogrammes de Julesz en se servant de paramètres semblables

à ceux utilisés dans les études de Lassonde et al. (sous presse) et de Blakemore (1970).

Par analogie avec ces études, la présente recherche utilisera les mêmes sujets que Lassonde et al. (sous presse), c'est-à-dire des patients agénésiques calleux. De façon similaire, les stimuli utilisés seront présentés à divers niveaux d'excentricité afin d'évaluer la performance des sujets à travers le champ visuel. Enfin, différents degrés de disparités rétiniennes seront employés afin de comparer les seuils de perception binoculaire de convergence et de divergence.

Considérant les études de Lassonde et al. (sous presse), de Blakemore (1970) et les résultats obtenus dans l'étude de Lepore et al. (sous presse), des sujets humains ayant une agénésie du corps calleux obtiendront une moins bonne performance en vision centrale (méridien vertical) qu'en périphérie dans une tâche de stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz. De plus, leur capacité de discrimination de la profondeur au niveau du méridien vertical sera inférieure à celle des sujets normaux. Ces résultats seront obtenus quel que soit le degré d'excentricité du stimulus ou le degré de disparité rétinienne utilisé.

## Chapitre II

### Description de l'expérience

## Sujets

L'échantillon total de cette recherche se compose de douze sujets répartis en trois groupes différents, soit un groupe expérimental et deux groupes contrôles. Le groupe expérimental comprend quatre sujets agénésiques du corps calleux dont le quotient intellectuel varie entre la basse moyenne (80) et la déficience légère (60). Quant aux groupes contrôles, ils se composent de huit sujets qui ne présentent aucun signe d'absence ou d'anomalie au niveau du corps calleux. Le premier groupe, contrôle 1, comporte quatre sujets qui sont pairés aux sujets acalleux en tenant compte du sexe du sujet, de son âge chronologique et de son âge mental. Ainsi, ils présentent également un quotient intellectuel qui varie entre la basse moyenne et la déficience légère. Le deuxième groupe, contrôle 2, se compose aussi de quatre sujets qui sont pairés au groupe expérimental en fonction du sexe et de l'âge chronologique. Alors, ils possèdent les mêmes caractéristiques que les sujets formant le premier groupe contrôle mais fonctionnent cette fois-ci selon un rendement intellectuel supérieur à la moyenne. Chacun de ces trois groupes comprend trois filles et un garçon dont l'âge varie entre seize et vingt-quatre ans.

### Description des sujets formant le groupe expérimental

Deux de nos sujets agénésiques sont issus de la même famille,

soit une fille, L.G. (06-05-60) qui se situe au deuxième rang d'une famille de quatre enfants et un garçon, M.G. (09-04-68) qui est le dernier-né de la famille. Ces jeunes ont eu tous deux une naissance difficile.

L.G. est née prématurément au septième mois de grossesse dans des conditions difficiles (anoxie, siège). Cette enfant a dû être hospitalisée vers trois ans et demi à la suite d'un accident. Un léger traumatisme crânien fut alors diagnostiqué. Un électroencéphalogramme de contrôle (EEG) passé à l'époque, montrait un tracé avec dysrythmie lente, sans pour autant indiquer la présence d'un foyer épileptiforme. Vers l'âge de six ans, une hospitalisation devenait nécessaire pour mutisme électif et ataxie. Une agénésie totale du corps calleux put alors être diagnostiquée par la passation d'un pneumoencéphalogramme (PEG). L'agénésie totale du corps calleux fut confirmée à dix-sept ans suite à une tomographie crânienne. L.G. a maintenant complété le cours de niveau secondaire qu'elle suivait. Elle est inscrite en professionnel court, section art ménager. Le mutisme électif et l'ataxie qui s'étaient manifestés en bas âge sont complètement disparus. Elle travaille présentement comme ménagère dans un collège.

M.G. le dernier-né, eut également une naissance difficile (cyanose et anoxie). Il a dû subir une hospitalisation vers l'âge de quatre ans et demi. Un retard au niveau de l'acquisition du langage, des difficultés au niveau moteur de même qu'une énurésie chronique nécessitèrent cette hospitalisation. Lors d'un examen neuropsychologique, des troubles d'intégration sensorielle, des difficultés de coordi-

nation et d'équilibre furent observés. A cette époque, une pneumoencéphalographie (PEG) démontra l'absence totale du corps calleux. A l'âge de neuf ans, une tomographie crânienne a confirmé le diagnostic pré-établi. M.G. va présentement en classe spéciale et son rendement scolaire se situe au même niveau ou est parfois supérieur à celui de ses camarades de classe. Malgré la présence de certaines difficultés de langage et de coordination motrice, le professeur de M.G. a constaté des changements évidents. M.G. peut maintenant monter à bicyclette et pratiquer certains sports d'équipe, ce qui démontre effectivement une amélioration au niveau de la motricité et de l'équilibre. Lors de l'expérimentation, il s'est montré très motivé et sérieux à résoudre la tâche bien que son professeur le trouve parfois distrait en classe.

Le troisième sujet, N.L. (10-07-67) habite la région du Lac St-Jean depuis sa naissance. Elle est l'aînée d'une famille de deux enfants; sa soeur est considérée normale. Vers l'âge de quatorze ans, N.L. a passé une épreuve intellectuelle qui la classa au niveau de la déficience légère. Le diagnostic d'agénésie calleuse n'était alors pas officiellement établi quoique la description des symptômes permettait d'en extrapoler la présence. En effet, N.L. présentait une polyneuropathie avec faiblesse motrice des membres proximaux et distaux. Ce diagnostic est souvent donné à la place d'agénésie calleuse. De plus, elle souffrait d'aréflexie totale avec réponse plantaire indifférente et de scoliose, qui sont tous deux des symptômes fréquents chez les cas d'agénésie du corps calleux originaires de la région du Lac St-Jean (Anderman et al., 1979). Toutefois, quelques mois plus tard, soit en novembre 1980, le diagnostic d'une agénésie totale du corps calleux fut

confirmé par une tomographie crânienne. N.L. fréquente actuellement une classe spéciale pour enfants retardés et/ou handicapés à Chicoutimi. Elle se déplace en fauteuil roulant puisqu'elle souffre de plégie des membres inférieurs. A l'école son rendement scolaire est généralement bon. De plus, elle fait parti de divers organismes et démontre ainsi une grande vigilance scolaire et une bonne confiance en elle. Lors de l'expérimentation, elle a montré une bonne coopération.

Le quatrième sujet, H.B. (28-05-67) habite aussi la région du Lac St-Jean et fréquente la même classe que N.L.. Elle se situe au dernier rang d'une famille de trois enfants qui sont tous considérés normaux. Vers l'âge de quatorze ans, H.B. a passé une épreuve intellectuelle qui la classait au niveau de la déficience légère. Elle présentait un déficit de préhension unimanuelle et des troubles de coordination bimanuelle. Elle avait besoin d'utiliser les deux mains dans les tâches où la vision était absente. Malgré ces problèmes, le diagnostic d'agénésie calleuse n'avait pas encore été clairement établi. Ce n'est qu'en octobre 1982 que le diagnostic d'agénésie totale du corps calleux fut confirmé par une tomographie crânienne. H.B. souffre également de plégie des membres inférieurs, ce qui l'oblige à se mouvoir à l'aide d'un fauteuil roulant qu'elle dirige avec beaucoup d'aisance. Au niveau scolaire, elle présente un bon rendement qui est parfois perturbé par un manque d'attention. Toutefois, elle a bien coopéré lors de l'expérimentation.

### Tests préliminaires

Chaque sujet est évalué à partir d'un ensemble de tests qui vise à confirmer leur acuité visuelle et leur quotient intellectuel. Les sujets choisis sont ceux qui, en l'occurrence, présentent une acuité monoculaire dans la moyenne ou supérieure à la moyenne et qui possèdent un rendement intellectuel relatif à leur groupe d'appartenance i.e. selon qu'ils fassent partie du groupe expérimental ou d'un des groupes de contrôles.

### Tests d'acuité visuel

Le test d'acuité visuel (Graham-Field no: 2867-1240) est utilisé pour sélectionner les sujets de sorte à éliminer ceux qui présentent des troubles visuels rendant difficile la perception des stéréogrammes de Julesz. Pour ce faire, une distance de vingt pieds entre le sujet et la position de la carte est gardée constante pour l'ensemble des sujets. Chacun doit lire les lettres qui lui sont présentées sur la carte et ce, avec un oeil à la fois. Le but de ce test est d'évaluer le niveau d'acuité visuelle en vision monoculaire. Le résultat attendu doit être égal ou supérieur à la moyenne ( $x \geq 20/20$ ).

### Epreuves intellectuelles

En fonction de l'âge du sujet, l'épreuve intellectuelle de Wechsler pour enfants (WISC-R, version française adaptée par l'Université du Québec à Trois-Rivières) ou l'épreuve intellectuelle de Wechsler



pour adultes (WAIS-R, version française adaptée par l'Université du Québec à Trois-Rivières) sont utilisées pour déterminer le quotient intellectuel de chacun des sujets.

### Epreuves expérimentales

#### Formation du stimulus

Pour produire l'effet de stéréopsie, un micro-ordinateur (Apple II) produit une série de lignes pointillées rouges ou bleues qui alternent horizontalement et qui couvrent l'ensemble d'un écran (Sony, Trinitron48) sur une surface de  $24^{\circ}$  d'angle visuel au plan vertical par  $35^{\circ}$  d'angle visuel au plan horizontal. A chaque ligne, 50% des points sont allumés et distribués de façon aléatoire. Le stéréogramme a une densité de 182 x 270 points (voir figure 6).

#### Filtres<sup>1</sup>

Un filtre bleu devant l'oeil gauche et un rouge devant l'oeil droit permettent au sujet de voir le stéréogramme produit, l'oeil gauche voyant les points bleus et l'oeil droit, les rouges. En effet, la luminosité des points rouges produits par l'écran et passant par le filtre rouge est de 0.5 fc (foot candle) et de 0.036 fc lorsqu'elle traverse le filtre bleu. La luminosité des points bleus produits par l'écran et passant par le filtre bleu est de 0.19 fc et de 0.016 fc

---

1. L'auteur tient à remercier les productions Donald K. Donald pour nous avoir fourni gratuitement les lunettes stéréoscopiques.

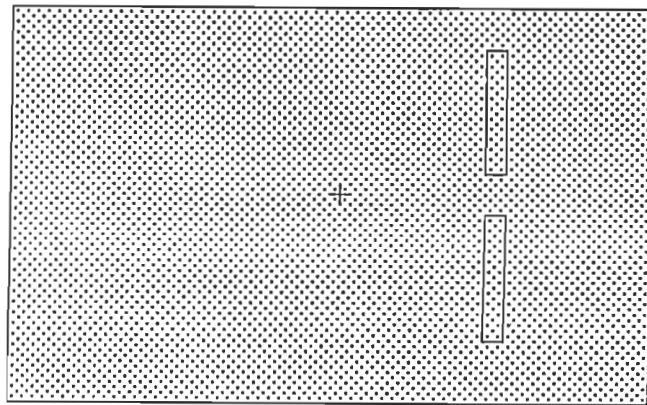


Fig. 6- Schéma d'un stéréogramme présenté sur l'écran au centre duquel apparaît une croix en guise de point de fixation. Les deux rectangles verticaux qui identifient les deux sections dont la distribution des points est déplacée, ne sont pas présentés durant l'expérience.

lorsqu'elle traverse le filtre rouge. Ces différences de luminosité servent à isoler les images rouges et bleues dans les yeux. Le degré de luminosité du stimulus (stéréogramme) est mesuré à l'aide d'un photomètre (Luminax 3 de Gossen).

#### L'effet de stéréopsie

Pour créer l'effet de stéréopsie désiré, il faut produire une disparité entre les deux images isolées perçues par le sujet. A cet effet, deux sections du stéréogramme, mesurant chacune  $2^{\circ}$  d'angle visuel horizontalement par  $7^{\circ}$  d'angle visuel verticalement et qui se situent sur un même axe vertical, sont remplacées par deux nouvelles distributions de points. Ces nouvelles distributions correspondent à un déplacement des points rouges et bleus vers la gauche et vers la droite.

C'est ce déplacement qui crée une disparité entre les deux images isolées et la direction du déplacement indique s'il s'agit de disparité convergente ou divergente. Dans le cas d'une disparité de divergence (non-croisée ou positive), les points rouges sont déplacés vers la droite et les points bleus vers la gauche. Le degré de disparité rétinienne est déterminé par la grandeur du déplacement. Pour une disparité de  $1^{\circ}$ , les points sont déplacés de 4 unités de chaque côté; pour une disparité de  $2^{\circ}$ , ils sont déplacés de 8 unités de chaque côté et ainsi de suite. Donc, pour une disparité positive de  $1^{\circ}$ , le déplacement est de 4 unités vers la droite pour les points rouges et de 4 unités vers la gauche pour les points bleus. La taille du stimulus demeure toujours la même quelle que soit la disparité.

Les régions des images isolées dans lesquelles la distribution des points est identique se fusionnent, tandis que les deux sections où les points sont déplacés paraissent flotter en avant du stéréogramme dans le cas d'une disparité de convergence (négative) et en arrière dans le cas d'une disparité de divergence (positive). Les deux sections où la distribution des points est déplacée seront appelées "cibles".

Chaque nouvelle distribution (cible) est présentée pendant 150 msec pour être ensuite instantanément remplacée par la distribution originale. De plus, un point de fixation formé d'une croix blanche mesurant  $2^{\circ}$  par  $2^{\circ}$  d'angle visuel est continuellement présenté au centre de l'écran. En conséquence, les deux sections du stéréogramme où la distribution des points est déplacée sont séparées par  $3^{\circ}$  d'angle visuel. Cet écart permet à la cible de ne pas empiéter sur le point de

fixation lorsqu'elle est présentée en vision centrale, ce qui provoquerait un effet de transparence et réduirait la capacité à percevoir la stéréopsie (voir figure 6).

### Présentation des stimuli

Les stéréogrammes sont présentés en tenant compte de deux variables. La première, le lieu de présentation, consiste à présenter la cible (chaque nouvelle distribution de points) à cinq excentricités différentes du champ visuel, soit à  $5^{\circ}$  ou à  $10^{\circ}$  dans la périphérie de gauche ou de droite et enfin, au centre du champ visuel. A 57 cm de l'écran, une excentricité de  $5^{\circ}$  correspond à une distance de 40 unités du point de fixation et une excentricité de  $10^{\circ}$  correspond à une distance de 80 unités du point de fixation. La deuxième variable, la condition de disparité rétinienne se subdivise en sept disparités horizontales variant entre  $-1.5^{\circ}$  et  $2^{\circ}$  avec un intervalle de  $0.5^{\circ}$ .

Alors pour concevoir et présenter les stimuli, le micro-ordinateur combine chaque degré de disparité avec chaque degré d'excentricité, ce qui totalise 35 combinaisons possibles formant ainsi 35 stimuli qui composent une série de stéréogrammes. L'ordre de présentation de chaque stimulus, en fonction du degré d'excentricité et de disparité rétinienne, est distribué aléatoirement par le micro-ordinateur. Donc, l'ordre de présentation des stimuli varie pour chaque série de stéréogrammes.

### Appareils utilisés

Le montage expérimental comporte un fauteuil sur lequel le sujet prend place confortablement. Il repose sa nuque sur le coussinet d'appui. Deux autres coussinets sont placés de chaque côté de la tête et servent à la stabiliser. Une mentonnière ajustable ajoutée au fauteuil assure le maintien de la tête en position fixe. Cette chaise dont la hauteur est contrôlée par une manivelle est placée devant un moniteur couleur (Sony, Trinitron-48), qui est utilisé pour la présentation des stimuli. Cet écran est placé sur une table carrée de 70 cm dont la hauteur est ajustée par une manivelle.

L'expérimentateur a devant lui tous les appareils qui lui permettent de contrôler le déroulement de l'expérience. Ces appareils sont disposés de gauche à droite (voir figure 7): un micro-ordinateur (Apple II), auquel se branche le moniteur, est déposé sur une table de 1 m de longueur par 2 m de largeur. A côté du micro-ordinateur sont placées deux clés morses. La première correspond à la réponse "en avant" et la deuxième à la réponse "au fond". Ces deux clés sont branchées au micro-ordinateur. Finalement, une imprimante (Epson, MX-100) enregistre les réponses du sujet. Elle note de gauche à droite: le numéro de l'essai, le degré de disparité rétinienne, le degré d'excentricité, la réponse du sujet et un astérisque s'imprime dans le cas où la réponse du sujet est inexacte.

En ce qui a trait à l'expérimentation, tous les appareils sont installés dans un local du Laboratoire de Neuropsychologie de l'Université du Québec à Trois-Rivières. La lumière est tamisée afin de ne pas

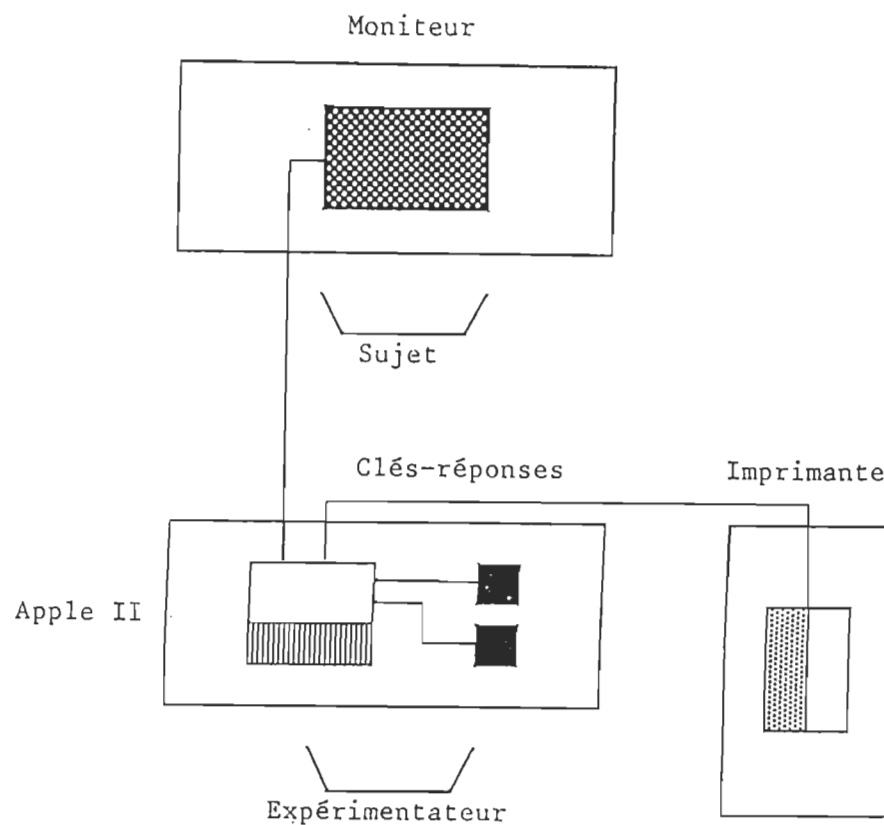


Fig. 7- Disposition et interaction des appareils expérimentaux.

nuire à la projection des stimuli.

#### Déroulement de l'expérience

L'expérimentateur débute chaque séance par une visite de la salle d'expérimentation où il montre les appareils au sujet. Tout en vérifiant et ajustant le matériel, l'expérimentateur explique sommairement l'expérience et les appareils utilisés. Cette période d'accueil d'environ vingt minutes a pour but de favoriser le calme et la confiance chez le sujet. Ensuite, celui-ci s'assoit sur une chaise dont la hauteur est contrôlée par l'expérimentateur. Les yeux du sujet doivent

se situer au même niveau que le point de fixation présenté au centre de l'écran. Ce point est localisé au centre du champ visuel à 57 cm devant le sujet. L'expérimentateur ajuste l'appui-tête et la mentonnière de sorte que la tête soit maintenue en position stable. L'expérimentateur met des lunettes portant les filtres au sujet en prenant soin de bien attacher les cordons derrière la tête de façon à ce qu'elles demeurent fixes tout au long de l'expérience. Par la suite, l'expérimentateur éteint la lumière pour habituer le sujet à la lumière tamisée (soit celle produite par l'écran lors de la présentation des stimuli). La consigne est alors donnée et expliquée si nécessaire pour que la tâche soit vraiment comprise par le sujet. Voici le texte de cette consigne:

"Devant toi, tu verras l'écran du moniteur se remplir de petits points et une petite croix blanche apparaîtra au centre de l'écran. Il faut que tu fixes tout le temps la croix blanche et que tu regardes devant toi. C'est très important de fixer toujours la croix: d'ailleurs je vais te le répéter quelquefois durant l'expérience. Ensuite, tu verras apparaître deux barres qui sont aussi faites de petits points. A cause des lunettes que tu portes, ces petites barres te sembleront parfois en avant, parfois au fond. Ces barres seront présentées soit à droite, soit à gauche et parfois même au centre de l'écran. Elles apparaîtront toujours en même temps et l'une sera toujours plus haute que l'autre. Ce que tu dois faire, c'est de dire si les barres te semblent en avant ou au fond de l'écran. Est-ce que tu as bien compris? Pour te pratiquer, tu m'indiques avec ton doigt où tu as vu les barres et ensuite tu me donnes ta réponse".

Tous les appareils fonctionnent selon un enchaînement répétitif qu'il s'agit d'initier avant chaque essai. Après avoir eu accès au programme, l'expérimentateur initie le processus en inscrivant le nom du sujet. Alors le stéréogramme et le point de fixation apparaissent sur l'écran et ils demeurent présents durant toute l'expérimentation. Par

la suite, l'expérimentateur presse une touche du clavier et le micro-ordinateur produit un déplacement de la distribution des points dans deux sections du stéréogramme (cible). Suite à la réponse verbale du sujet, l'expérimentateur signale cette réponse en actionnant une clé qui initie l'impression des données concernant le stimulus présenté.

#### Phase d'apprentissage

L'expérimentation se divise en deux phases. La première phase consiste en un apprentissage visuel en vue de s'assurer que le sujet perçoit bien les stéréogrammes et qu'il puisse apprendre à les discriminer. Pour l'apprentissage, 14 séries de stimuli sont présentées au sujet. Chacune se compose d'un essai pour les disparités  $\pm 1.0^\circ$ ,  $\pm 0.5^\circ$  et ce, à chaque excentricité totalisant 20 essais par série. Le temps initial de présentation est de 4000 msec. Par la suite, le temps de présentation diminue graduellement avec un intervalle de 500 msec pour en arriver à une présentation de 150 msec. Il y a une série de stéréogrammes pour chaque temps de présentation. Cependant, chaque série peut être répétée jusqu'à ce que le sujet ait réussi seize essais sur vingt.

Entre la phase d'apprentissage et la phase expérimentale, une pause de dix à vingt minutes est prévue. Le sujet doit toutefois demeurer dans la salle d'expérimentation sous éclairage tamisé, afin que sa vue demeure adaptée à la lumière ambiante.



### Phase expérimentale

La deuxième phase consiste en l'expérimentation proprement dite. Dans celle-ci, dix essais sont effectués à chacun des degrés d'excentricité et ce, pour chaque degré de disparité, ce qui totalise 350 essais (10 séries de 35 stimuli). Le stimulus est présenté pendant 150 msec afin d'éviter les mouvements oculaires de centration sur la cible. A la fin de chaque série de 35 essais, le micro-ordinateur produit un tableau des résultats ainsi que le pourcentage de bonnes réponses. Un deuxième tableau présente les résultats cumulatifs depuis la première série, ainsi que le pourcentage de bonnes réponses cumulées.

### Chapitre III

#### Analyse des résultats

## Résultats des tests préliminaires

### Examen visuel

L'acuité visuelle de chacun des sujets a été déterminée au moyen de la carte de Graham-Field: 2867-1240. Les résultats obtenus pour chaque sujet sont reproduits en appendice A. Aucune lacune n'est apparue chez les trois groupes de sujets, d'autant plus que chacun avait une acuité visuelle supérieure à la moyenne.

### Epreuve intellectuelle

Les quatre sujets du premier groupe témoin (contrôle 1) ont des quotients intellectuels respectifs de 73; 79; 88; 68, qui équivalent approximativement ceux des sujets du groupe expérimental auxquels ils sont pairés.

Parallèlement au groupe contrôle 1, un deuxième groupe témoin (contrôle 2) est étudié. Ce groupe se compose de sujets ayant des capacités intellectuelles supérieures à la moyenne variant entre 119 et 128. Ces individus ont donc des capacités intellectuelles se situant au-dessus de celles des sujets constituant le premier groupe contrôle. Le groupe contrôle 2 est utilisé pour vérifier l'interaction agénésiques-contrôle 1 et déterminer si les résultats obtenus entre ces deux derniers groupes sont attribuables plus spécifiquement à l'absence de

corps calleux ou à la lenteur intellectuelle qui se retrouve dans ces deux derniers groupes. Les résultats obtenus pour les sujets agénésiques de même que pour les sujets contrôles au test d'intelligence sont présentés en appendice B.

### Variables indépendantes et variable dépendante

L'âge des sujets, le sexe, le fait qu'ils soient acalleux ou non, leurs capacités intellectuelles et leur acuité visuelle sont toutes des variables indépendantes. Les deux groupes contrôles, le groupe d'agénésiques calleux ainsi que les degrés d'excentricité et de disparité rétinienne sont les principales variables indépendantes qui ont été mises en relation avec le test expérimental. La réponse émise par le sujet constitue la seule variable dépendante enregistrée dans cette analyse. Les résultats obtenus ont donc été analysés à la lumière de ces interactions.

### Résultats de l'expérience

#### Transformations préliminaires des mesures expérimentales

Pour chacune des réponses, une seule mesure est enregistrée, soit la nature des réponses (en avant ou au fond); c'est sur cette dimension que portent les analyses et les transformations subséquentes. Toutefois, seules les bonnes réponses à la stimulation visuelle sont conservées pour fins d'analyse. Une sommation de ces bonnes réponses pour chacune des conditions expérimentales en fonction du degré d'excen-

tricité et de disparité rétinienne est effectuée. C'est par cette somme qu'il est possible d'obtenir la moyenne des bonnes réponses. Par la suite, les résultats obtenus sont soumis à une transformation angulaire de Fisher ( $\sin^{-1} \sqrt{\frac{x + 3/8}{\max + 3/4}}$ ) de façon à normaliser les données binomiales avant de les soumettre à l'analyse de variance. Une analyse de variance ANOVA s'effectuera à partir des données déjà transformées.

#### Traitement des résultats et formules statistiques

Pour le traitement statistique des variables (groupes x excentricités x disparités), l'emploi d'une analyse de variance à mesures répétées sur les deux derniers facteurs (excentricités et disparités) est nécessaire puisque tous les sujets sont soumis aux mêmes conditions expérimentales. Cette analyse permet de comparer la performance du groupe expérimental à celle des deux groupes contrôles dans la discrimination du stimulus en fonction de son degré d'excentricité et de disparité rétinienne. Cette comparaison a pour but de vérifier si l'absence de corps calleux affecte la performance des sujets.

Les données de cette analyse seront traitées électroniquement grâce au programme ANOVA (Between-Within) de Apple.

#### Analyse portant sur le nombre de bonnes réponses pour les trois groupes de sujets

L'analyse portant sur les variables, "groupe", "excentricité" et "disparité rétinienne" s'effectue selon un schème 3 x 4 x 7, soit les trois groupes (acalleux ou non), quatre degrés d'excentricités (-10; -5;

+5; +10) et sept degrés de disparités rétinienne (-1.5; -1.0; -0.5; +0.5; +1.0; +1.5; +2.0). Le schème original était de 3 x 5 x 7, incluant l'excentricité zéro. Cependant, puisque la performance des sujets à cette excentricité se maintenait à un bas niveau, il fut nécessaire d'isoler cette excentricité pour ne pas biaiser les interactions. Par conséquent, les résultats reliés au degré d'excentricité zéro seront étudiés indépendamment par le biais de figures qui comparent la performance des sujets à l'excentricité zéro à travers tous les autres degrés d'excentricité.

Le tableau 1 rapporte la variance obtenue pour les trois facteurs ci-haut mentionnés. L'analyse de cette variance permettra de vérifier si la performance des sujets acalleux en vision para-centrale et périphérique est inférieure aux sujets contrôles. Si tel est le cas, l'absence de corps calleux jouera un rôle déterminant au niveau de la discrimination des stéréogrammes de Julesz. L'appendice C reproduit le détail des statistiques descriptives de cette analyse pour chaque groupe selon chaque degré d'excentricité et disparité rétinienne alors que l'appendice D reproduit les résultats de chaque sujet.

Toujours selon le tableau 1, seul le facteur inter-individuel i.e. le groupe, se révèle significatif ( $F = 6.350$ ,  $p = .02$ ), suggérant une différence évidente entre le nombre de bonnes réponses obtenues par les sujets des divers groupes. A cet effet, le tableau 2 reproduit le pourcentage moyen de bonnes réponses pour chacun des trois groupes impliqués. Les données montrent une meilleure performance des sujets du groupe contrôle 2 par rapport à ceux des deux autres groupes. Ce

Tableau 1  
Analyse de la variance pour les facteurs Groupes x  
Excentricités (Exc.) x Disparités (Disp.)

Sources de variation	dl	Carré moyen	F	P	
Inter-individuelle					
Entre groupes	2	3446.502	6.350	.019	*
Résiduel	9	542.750			
Inter-individuelle					
Excentricités	3	98.262	1.239	.314	
Groupes x Exc.	6	89.096	1.123	.375	
Résiduel	27	79.317			
Disparités	6	2805.709	26.886	<.001	*
Groupes x Disp.	12	262.177	2.512	.010	*
Résiduel	58	104.358			
Exc. x Disp.	18	202.158	2.685	<.001	*
Groupes x Exc. x Disp.	36	151.242	2.009	.002	*
Résiduel	162	75.297			

\* Significatif

Tableau 2

Pourcentage moyen de bonnes réponses obtenues  
par chaque groupe de sujets

Groupe expérimental	Groupe contrôle 1	Groupe contrôle 2
77	79	90

résultat était d'ailleurs prévu dans l'élaboration même du test. De plus, les sujets du groupe expérimental et du groupe contrôle 1 ont des performances similaires. Selon ces résultats, la lenteur mentale retrouvée dans ces deux groupes serait à l'origine de la différence significative observée dans la performance entre les trois groupes, possiblement plus que l'absence de corps calleux.

L'analyse de la variance intra-individuelle dans le tableau 1 révèle quatre interactions évidentes. La première, la disparité ( $F = 26.886$ ,  $p = .001$ ), suggère une différence déterminante dans la performance des sujets au niveau de la discrimination de la disparité et ce, quel que soit le groupe de sujets et le degré d'excentricité.

La figure 8 présente cette interaction pour le pourcentage moyen de bonnes réponses. La courbe montre que la capacité de discrimination des sujets est légèrement inférieure aux disparités divergentes (+) comparativement aux disparités convergentes (-). Cependant, cette faiblesse peut être partiellement due à la disparité  $+2^{\circ}$  qui, n'étant pas présentée sous sa forme négatives ( $-2^{\circ}$ ), dénivelé la courbe



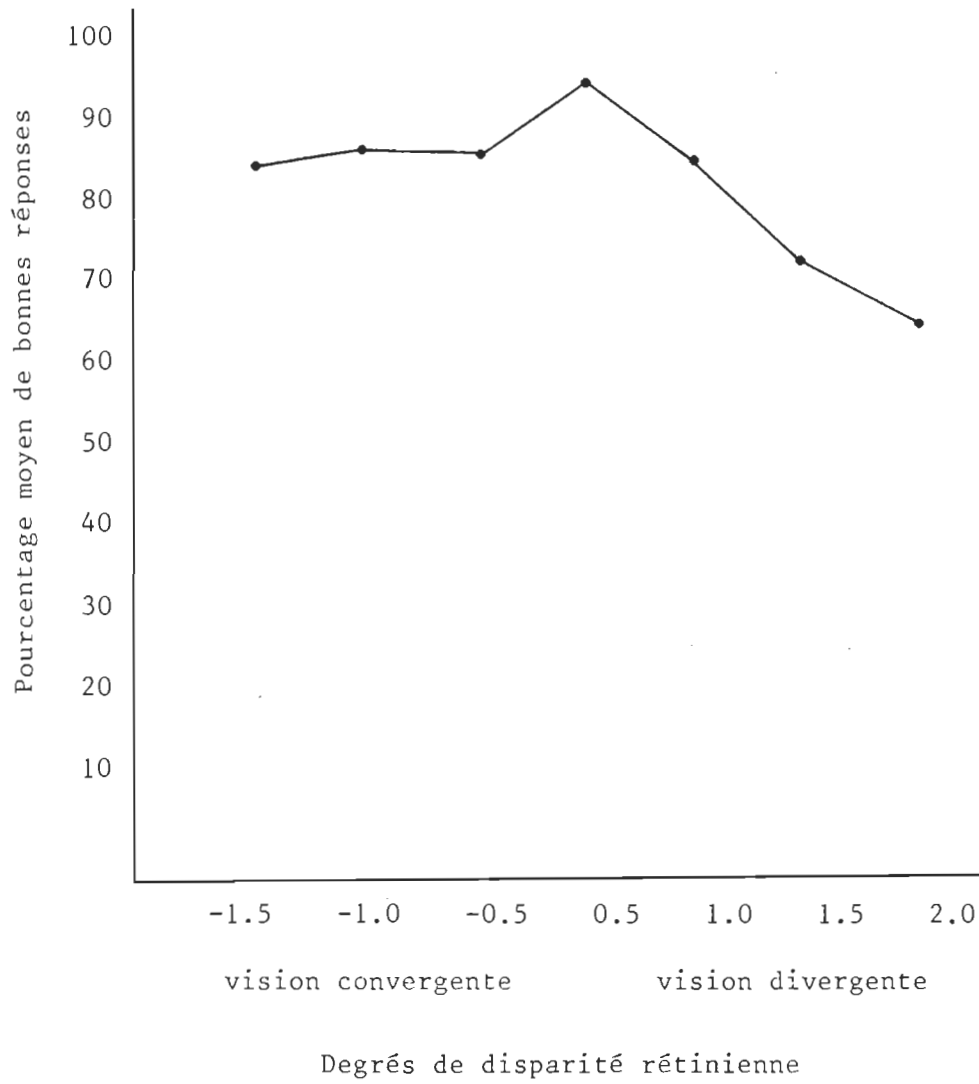


Fig. 8 - Pourcentage moyen de bonnes réponses pour les trois groupes de sujets en fonction du degré de disparité rétinienne.

numérique représentant la performance des sujets. En outre, la courbe démontre une tendance linéaire quadratique au niveau des degrés de disparité i.e. qu'il y a une baisse significative du tracé de la courbe aux extrémités. A cet effet, une analyse de l'interaction linéaire quadratique a été effectuée et répartie sur tous les degrés de disparité rétinienne (positive et négative). Cette interaction s'avère très significative ( $F = 64.574$ ,  $p = .01$ ). Par conséquent, il semble que la performance des sujets suit un pattern particulier déterminé par une diminution de la performance avec l'augmentation du degré de disparité rétinienne. Plus les degrés de disparité sont extrêmes (très grands ou très petits), moins bonne est la performance.

La deuxième interaction manifeste se situe entre les facteurs "groupe" et "disparité rétinienne" ( $F = 2.512$ ,  $p = .01$ ). Elle suggère une différence importante dans la performance des trois groupes de sujets selon le degré de disparité du stimulus. La figure 9 reproduit cette interaction et montre, comme dans le tableau 2, que les sujets acalleux ainsi que ceux composant le groupe contrôle 1 ont une performance relativement semblable, bien que celle des acalleux soit légèrement plus faible. Selon ce résultat, l'absence de corps calleux influence très légèrement la discrimination de stéréogrammes de Julesz en fonction du degré de disparité. De plus, leur performance diffère largement de celle des sujets composant le groupe contrôle 2, ce qui indique que la faible performance enregistrée par le groupe expérimental serait non seulement due à l'absence de corps calleux mais surtout à la lenteur intellectuelle des sujets. Par ailleurs, il semble se dégager une régression linéaire tant pour les disparités convergentes (-) que

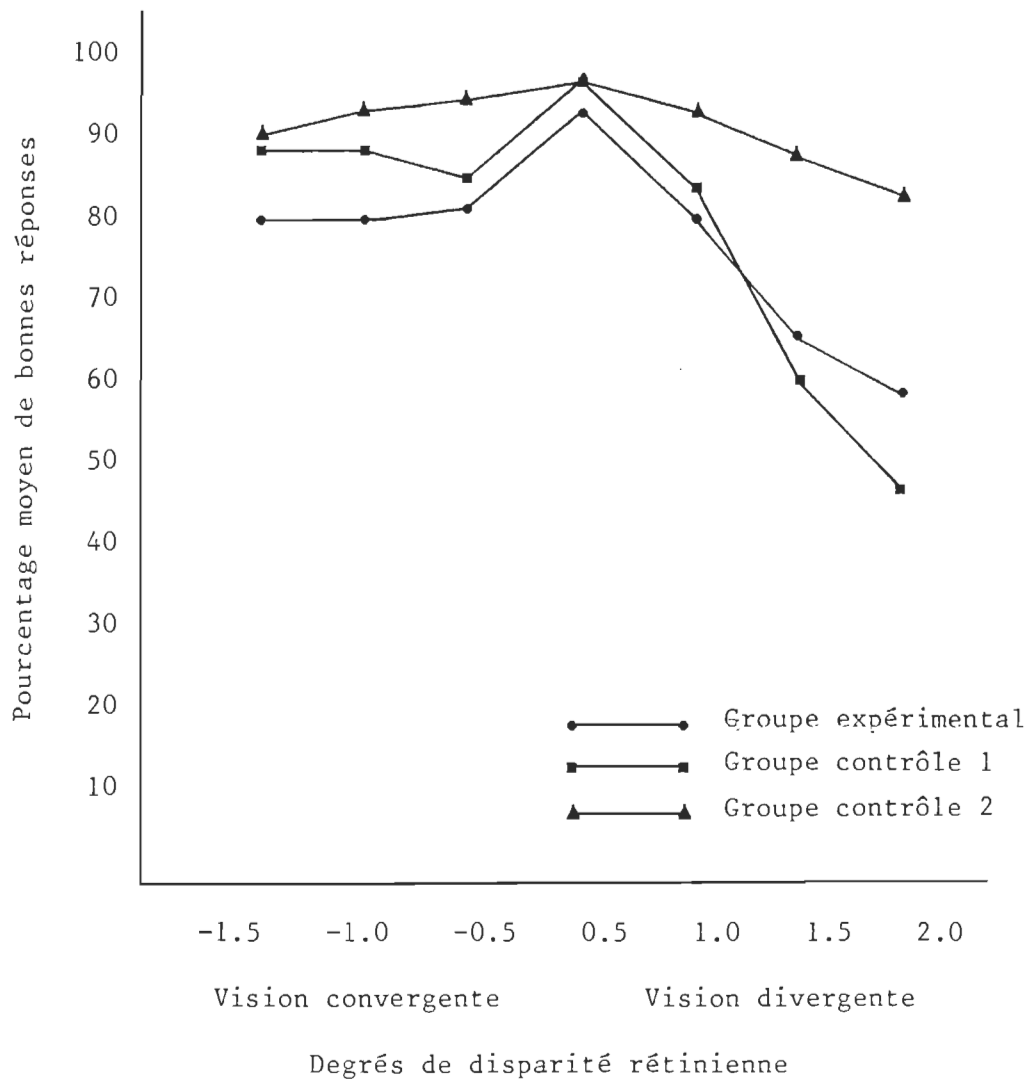


Fig. 9- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour chaque groupe de sujets en fonction du degré de disparité rétinienne.

divergentes (+). A cet effet, une analyse de l'interaction linéaire (groupe x disparité) est également effectuée mais d'abord sur les disparités positives puis négatives. L'objectif est de vérifier si la chute des courbes est constante entre les trois groupes de sujets. L'interaction linéaire pour les disparités positives est déterminante ( $F = 10.129$ ,  $p = .01$ ), alors qu'elle ne l'est pas pour les disparités négatives ( $F = 1$ , donc  $p = \text{NS}$ ). Ces résultats révèlent que la performance des sujets, aux disparités divergentes (+) décroît de façon constante avec l'augmentation du degré de disparité rétinienne. Par contre, aux disparités convergentes (-), la baisse de performance et les écarts entre les groupes sont plutôt instables ce qui indique une différence de performance entre les sujets des divers groupes. La courbe illustrant les résultats des sujets acalleux en vision convergente montre une faiblesse dans la discrimination lorsque le stimulus est proximal. Ainsi, l'absence de corps calleux semble influencer la discrimination de stéréogrammes de Julesz en vision convergente. Cependant, la performance du groupe expérimental se rapproche de celle des groupes contrôles lorsque le temps d'exposition du stimulus est augmenté (Fig. 21).

Rappelons que selon l'étude de Lassonde et al. (1984), les cellules corticales ayant des fibres calleuses activeraient l'hémisphère contralatéral qui, en retour, faciliterait ou amplifierait la réponse des cellules initiales. Alors, l'absence de cette structure provoquerait un ralentissement des fonctions cérébrales. Dans le but de vérifier cette hypothèse concernant le rôle facilitateur du corps calleux, le test fut administré au groupe expérimental selon deux temps

d'exposition du stimulus soit, 150 ms et 300 ms. Les résultats qui sont présentés en figure 15 en appendice E indiquent une meilleure capacité de discrimination à 300 ms qu'à 150 ms. La figure 21 présentée en appendice F compare la performance des sujets acalleux à 300 ms à la performance des sujets des groupes contrôles. Cette figure indique une meilleure performance des sujets acalleux en vision divergente et un léger rapprochement des données entre les sujets acalleux et le groupe contrôle 1 en vision convergente. Donc, des sujets agénésiques calleux devront mettre plus de temps pour réussir cette tâche de façon comparable aux sujets contrôles. Dans ce sens, l'absence de corps calleux affecte davantage le temps de perception des sujets que la capacité de discrimination de la profondeur dans une tâche de perception de stéréogrammes de Julesz en fonction du degré de disparité.

La troisième interaction s'observe entre le degré d'excentricité et de disparité rétinienne ( $F = 2.685$ ,  $p < .001$ ). A cet effet, il existerait une dominance différente de l'excentricité selon le degré de disparité rétinienne du stimulus. La figure 10 présente cette interaction pour le pourcentage moyen de bonnes réponses. A la lecture de cette figure, il est facile de constater que les courbes illustrant la performance des sujets en vision centrale gauche et droite ( $-5^{\circ}$  et  $+5^{\circ}$  d'excentricité) suivent relativement la même courbe que l'excentricité à laquelle chaque degré est jumelé ( $-10^{\circ}$  et  $+10^{\circ}$  d'excentricité) et leurs sont parfois supérieures.

En outre, aux disparités convergentes (-), la performance des sujets est généralement meilleure à  $+5^{\circ}$  qu'à  $+10^{\circ}$  et à  $-5^{\circ}$  qu'à  $-10^{\circ}$

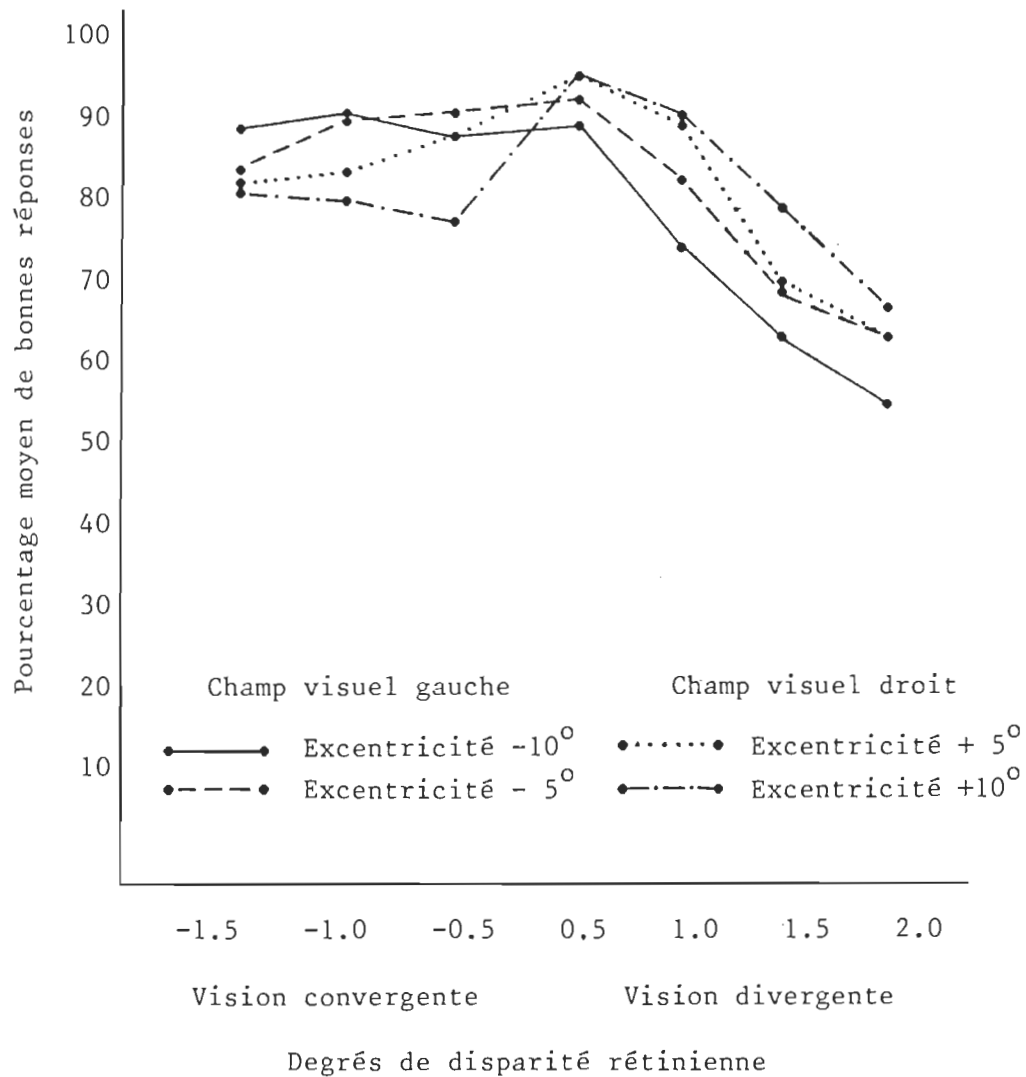


Fig. 10- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour les trois groupes de sujets en fonction du degré d'excentricité et de disparité rétinienne.

d'excentricité. Ces résultats indiquent que les sujets perçoivent mieux le relief lorsque le stimulus est présenté en vision para-centrale plutôt qu'en périphérie. De plus, les résultats démontrent un effet déterminant dans la performance selon que les stimuli convergents apparaissent dans le champ visuel gauche ou droit, semblant mieux discriminés dans le champ visuel gauche.

Par ailleurs, la performance des sujets en vision divergente (+) est meilleure en vision para-centrale gauche ( $-5^{\circ}$  d'excentricité) qu'en périphérie gauche ( $-10^{\circ}$  d'excentricité). Ce résultat s'avère similaire à celui observé en vision convergente (-) pour cette même région du champ visuel. Par contre, il est intéressant de constater qu'aux disparités divergentes (+), la performance des sujets est globalement meilleure dans le champ périphérique droit ( $+10^{\circ}$  d'excentricité) et tend à décroître progressivement lorsque le stimulus est présenté vers la gauche ( $+5^{\circ}$ ;  $-5^{\circ}$ ;  $-10^{\circ}$  d'excentricité). Ainsi, lorsque le stimulus est divergent (+), la perception des sujets est meilleure dans le champ périphérique droit que dans le gauche, alors que l'effet contraire est observé pour les disparités convergentes (-). Donc, ces résultats démontrent un effet déterminant de la performance selon que le stimulus apparaît dans le champ visuel gauche ou droit.

La quatrième interaction significative s'effectue entre les facteurs "groupe", "excentricité" et "disparité rétinienne" ( $F = 2.009$ ,  $p < .002$ ). Cette influence démontre une différence manifeste de performance entre les groupes dans la discrimination du stimulus en fonction des degrés d'excentricité et de disparité rétinienne. L'analyse de

cette interaction pour chaque groupe permettra de vérifier l'effet du champ visuel sur la disparité.

Chez les agénésiques calleux, l'interaction "excentricité" et "disparité" montre des différences manifestes ( $F = 3.913$ ,  $p < .001$ ). La figure 11 représente la performance de ces sujets. Dans celle-ci, la courbe illustrant le pourcentage moyen de bonnes réponses dans la périphérie gauche ( $-10^{\circ}$ ) se distingue largement des autres courbes. La performance des sujets est optimale à la disparité  $-1.5^{\circ}$  et diminue progressivement avec l'augmentation du degré de disparité rétinienne pour être à son plus bas à la disparité  $+2.0^{\circ}$ . Il semble que la performance soit supérieure lorsque le stimulus paraît proximal au sujet, alors qu'elle devient moins bonne lorsqu'il s'en éloigne. Cette courbe se détache largement des autres et pourrait indiquer un effet de champ visuel déterminant chez les sujets acalleux dans la périphérie gauche. Aux autres degrés d'excentricité, la performance des sujets acalleux démontre clairement un rapprochement des données pour la disparité divergente (+) puisque les tracés tendent à épouser une seule courbe. Plus cette disparité augmente i.e. le stimulus s'éloigne, moins bonne est la performance et ce, pour tous les degrés d'excentricité. Pour la disparité convergente (-), les tracés différents en fonction du degré d'excentricité (plus haut, plus bas) marquent une baisse de la performance. Néanmoins, ces observations vont dans le même sens que celles obtenues au niveau du facteur "disparité rétinienne" et de l'interaction "groupe" et "disparité rétinienne". Dans les deux cas, il y a une baisse de performance avec l'augmentation du degré de disparité rétinienne; une fluctuation de performance en vision convergente (-) et



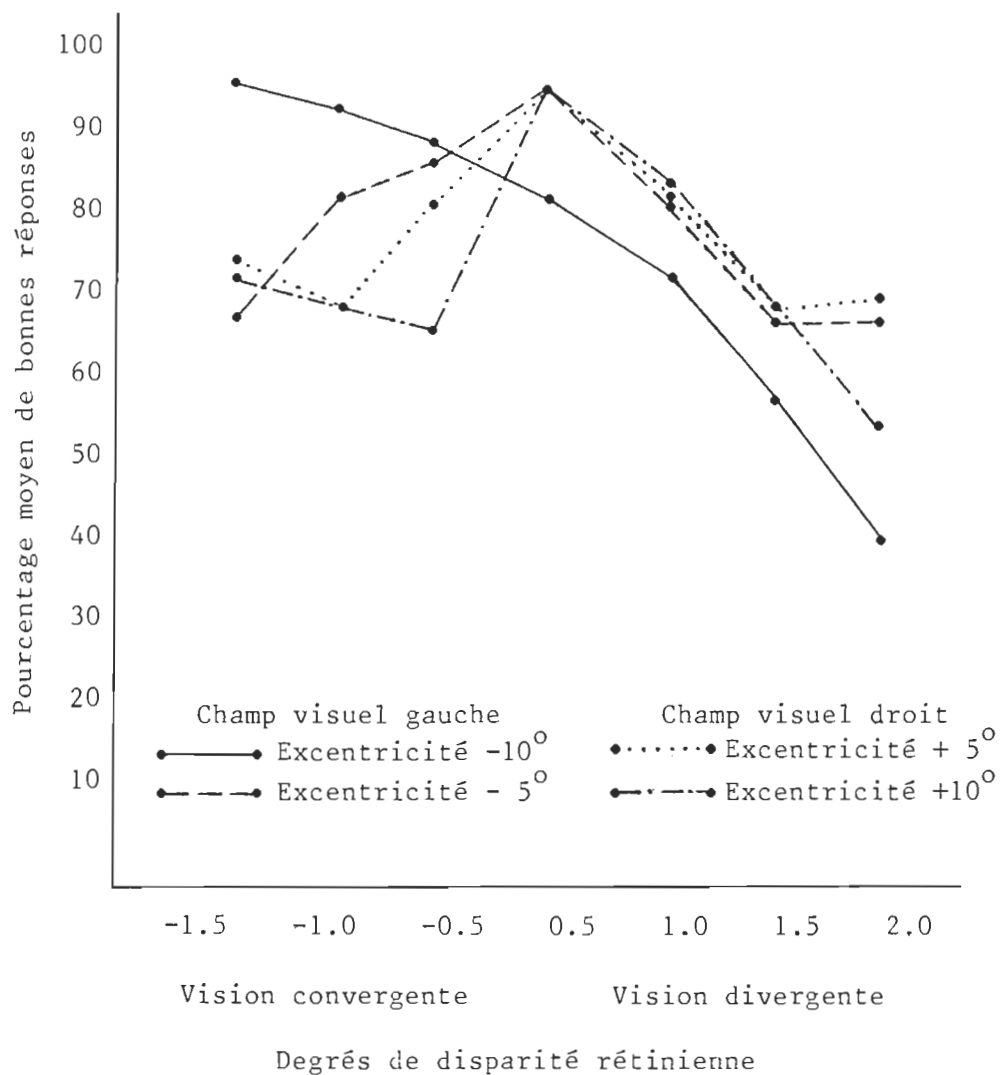


Fig. 11- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour le groupe expérimental (acalleux) en fonction du degré d'excentricité et de disparité rétinienne.

une chute constante des résultats en vision divergente (+).

L'interaction des facteurs "excentricité" et "disparité rétinienne" s'avère très significative chez le groupe contrôle 1 ( $F=2.701$ ,  $p=.002$ ). La figure 12 reproduit les résultats des sujets. Bien qu'il y ait moins d'unité entre les courbes, les tracés de cette figure se rapprochent considérablement de ceux de la figure 11, illustrant la performance des sujets acalleux. Leurs courbes suivent relativement la même orientation. Les effets observés dans la figure 12 rappellent ceux présentés aux figures 10 et 11.

Chez le groupe contrôle 2 l'interaction "excentricité" et "disparité" n'est pas significative. La figure 13 illustre la performance de ces sujets. Contrairement aux deux groupes précédents, les résultats sont plus homogènes et plus élevés. L'effet de champ visuel est donc absent chez les sujets normaux. Néanmoins, comme dans tous les autres figures, leur performance tend à décroître à la disparité distale ( $+2.0^{\circ}$ ) et proximale ( $-1.5^{\circ}$ ). De plus, il apparaît important de mentionner que ces courbes diffèrent largement de celles des sujets du groupe expérimental et contrôle 1 dont l'allure globale est similaire. Cette constatation démontre une fois de plus que la différence de performance entre les divers groupes est généralement due à la lenteur intellectuelle des sujets composant le groupe expérimental et le groupe contrôle 1.

L'analyse des résultats concernant la performance des sujets acalleux en fonction du temps de présentation du stimulus permet de vérifier si la différence de performance observée entre les sujets

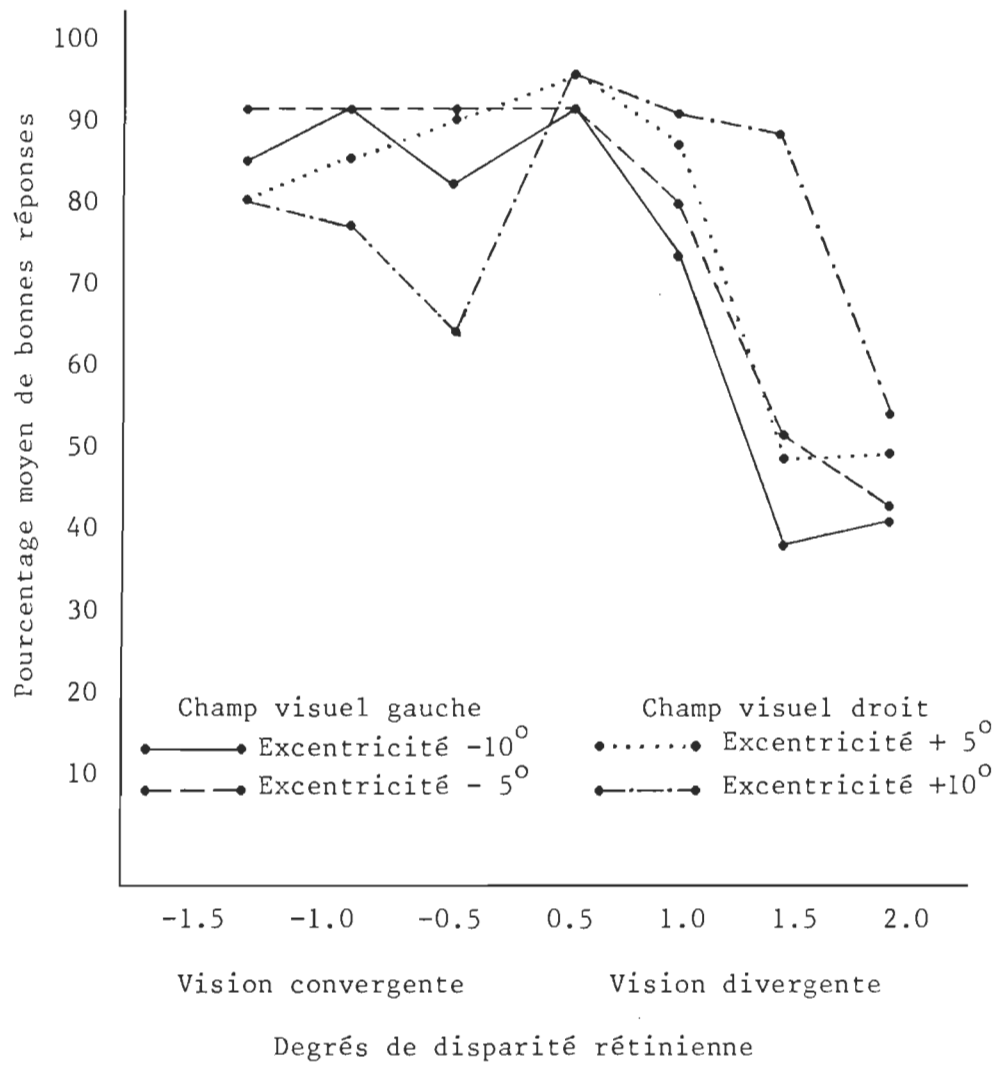


Fig. 12- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour le groupe contrôle 1 en fonction du degré d'excentricité et de disparité rétinienne.

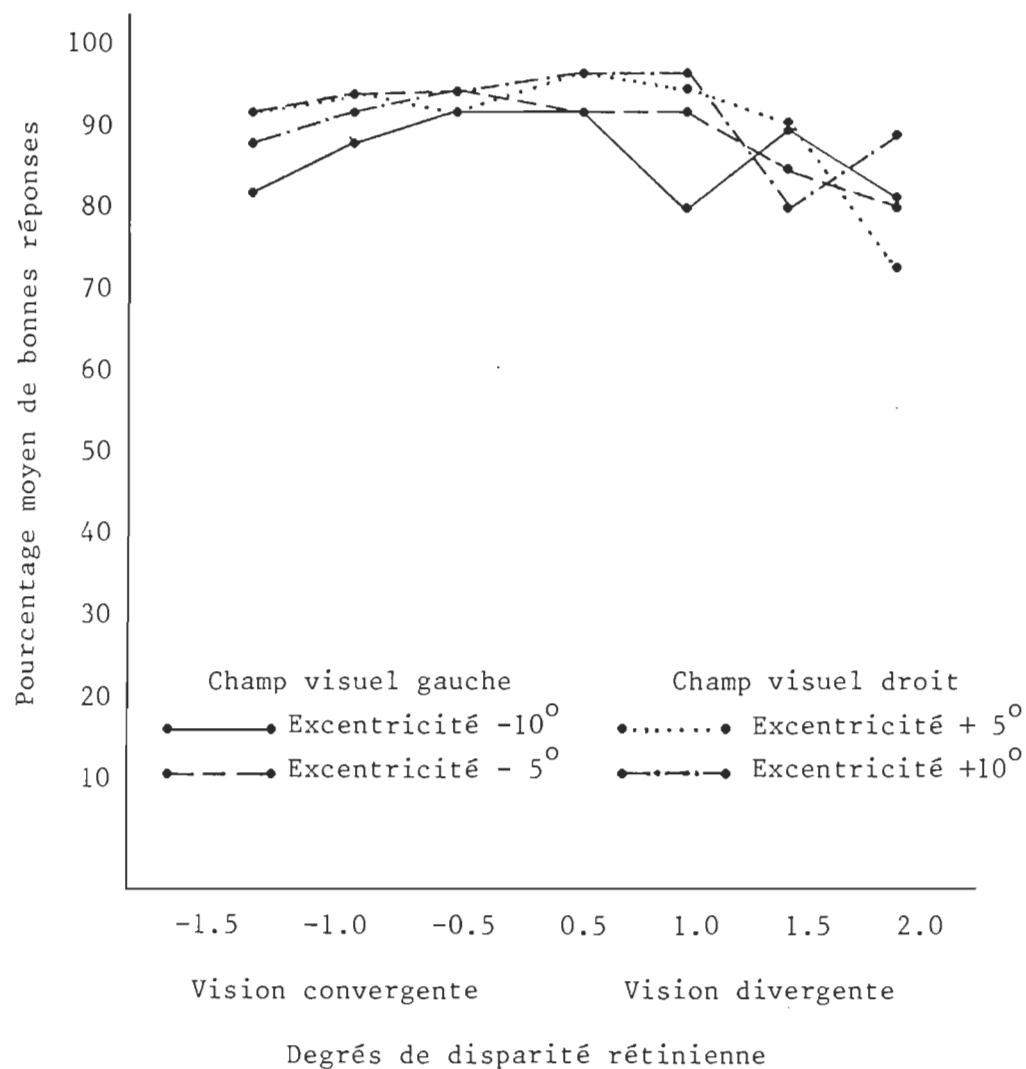


Fig. 13- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour le groupe contrôle 2 en fonction du degré d'excentricité et de disparité rétinienne.

acalleux et ceux appariés selon le rendement intellectuel est due à la lenteur de perception des sujets causée par l'absence de corps calleux. Si tel est le cas, la performance des sujets acalleux sera meilleure avec l'augmentation du temps d'exposition du stimulus. L'analyse de l'interaction "temps d'exposition", "degré d'excentricité" et de "disparité rétinienne" ( $F = 1.952$ ,  $p = .015$ ) démontrent une différence significative entre les résultats. Les figures 22 et 23 en appendice G illustre la performance des sujets pour chaque temps d'exposition du stimulus. Les courbes montrent que la capacité de discrimination en vision divergente est meilleure lorsque le stimulus apparaît pendant 300 ms que pendant 150 ms et ce, quel que soit le degré d'excentricité. Cependant, en vision convergente, les résultats diffèrent en fonction du degré d'excentricité. Lorsque le stimulus apparaît en vision para-centrale, les résultats sont supérieurs à 300 ms qu'à 150 ms. Par contre, lorsque le stimulus apparaît en périphérie, la capacité de discrimination est paradoxalement meilleure à 150 ms qu'à 300 ms. Ce dernier effet, plutôt inattendu, est sûrement dû à une erreur méthodologique. Alors, ces résultats et l'allure générale de ces courbes confirment que la lenteur de perception des sujets suite à l'absence de corps calleux affecte légèrement la performance, quel que soit l'excentricité ou la disparité du stimulus.

Analyse portant sur le pourcentage de bonnes réponses des sujets à l'excentricité 0° par rapport aux autres degrés d'excentricité

Dans le but de vérifier si les sujets acalleux réussissent

moins bien à l'excentricité  $0^\circ$  qu'aux autres degrés d'excentricité et si leur performance à cette excentricité est inférieure à celles des sujets contrôles, une comparaison des résultats traduits sous forme de figures est effectuée. Pour chaque groupe de sujets, les résultats sont exprimés en terme de pourcentage de bonnes réponses. Chaque figure compare la performance à l'excentricité zéro aux autres degrés d'excentricité et ce, en fonction du degré de disparité rétinienne. Il s'agit d'observer si la performance à l'excentricité  $0^\circ$  est inférieure aux autres degrés d'excentricité tel que prévue selon l'hypothèse.

La figure 14 compare la performance des sujets à travers le champ visuel quelque soit le degré de disparité rétinienne. Il est observé que les sujets normaux ont des résultats plafonnés, ce qui était d'ailleurs attendu dans l'élaboration même de l'expérience. Quant aux sujets acalleux et contrôle 1, leur performance est relativement semblable bien que les acalleux montrent une performance légèrement plus faible en vision centrale. Le détail de ces résultats est illustré par le biais de figures représentant la performance des groupes pour chaque degré d'excentricité et de disparité rétinienne. D'une part, ces figures permettront de vérifier si les acalleux discriminent moins bien en vision centrale et d'autre part, si l'effet "M" observé par Blakemore (1970) se retrouve également dans les résultats de la présente recherche.

Ces figures montrent des courbes plutôt instables alors des résultats différents d'une excentricité à l'autre; donc à la limite du hasard. L'effet remarqué par Blakemore (1970) n'est pas reproduite de

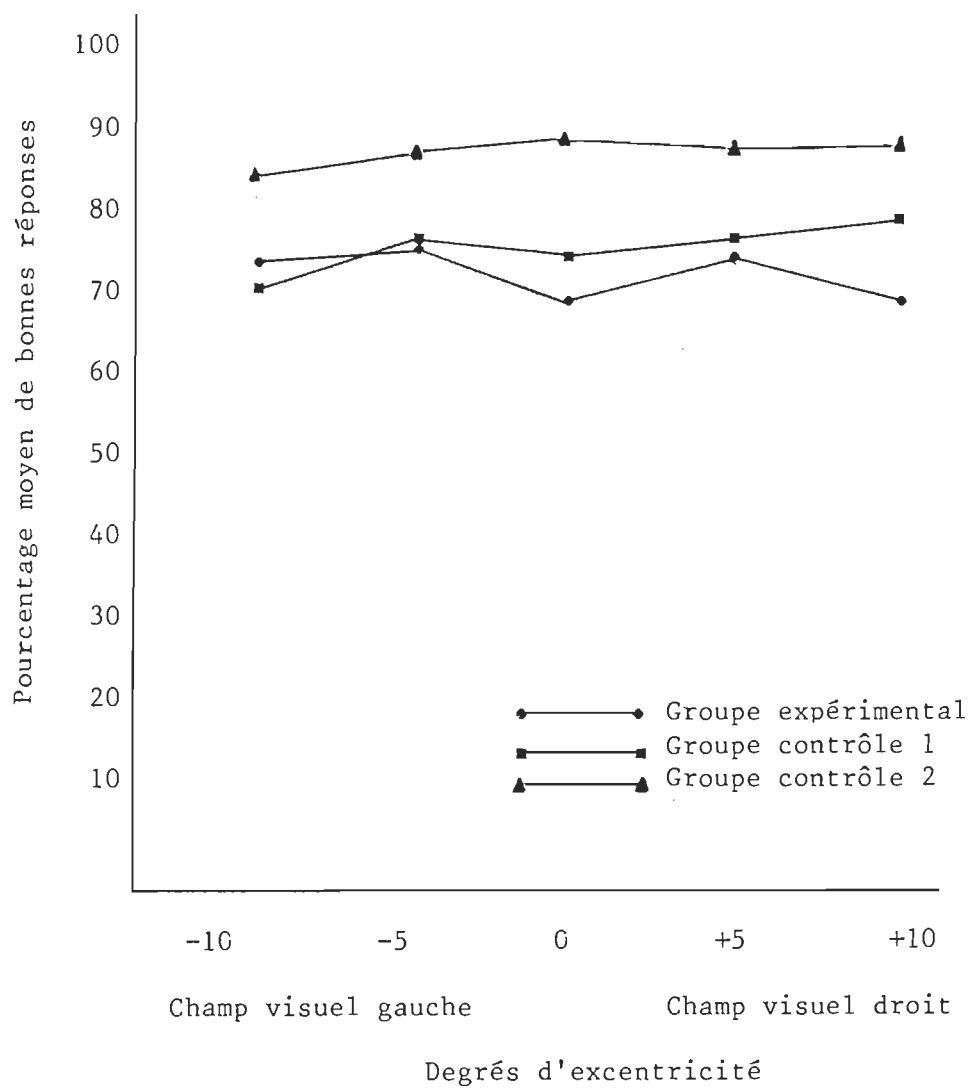


Fig. 14- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour les divers groupes de sujets en fonction du degré d'excentricité du stimulus.

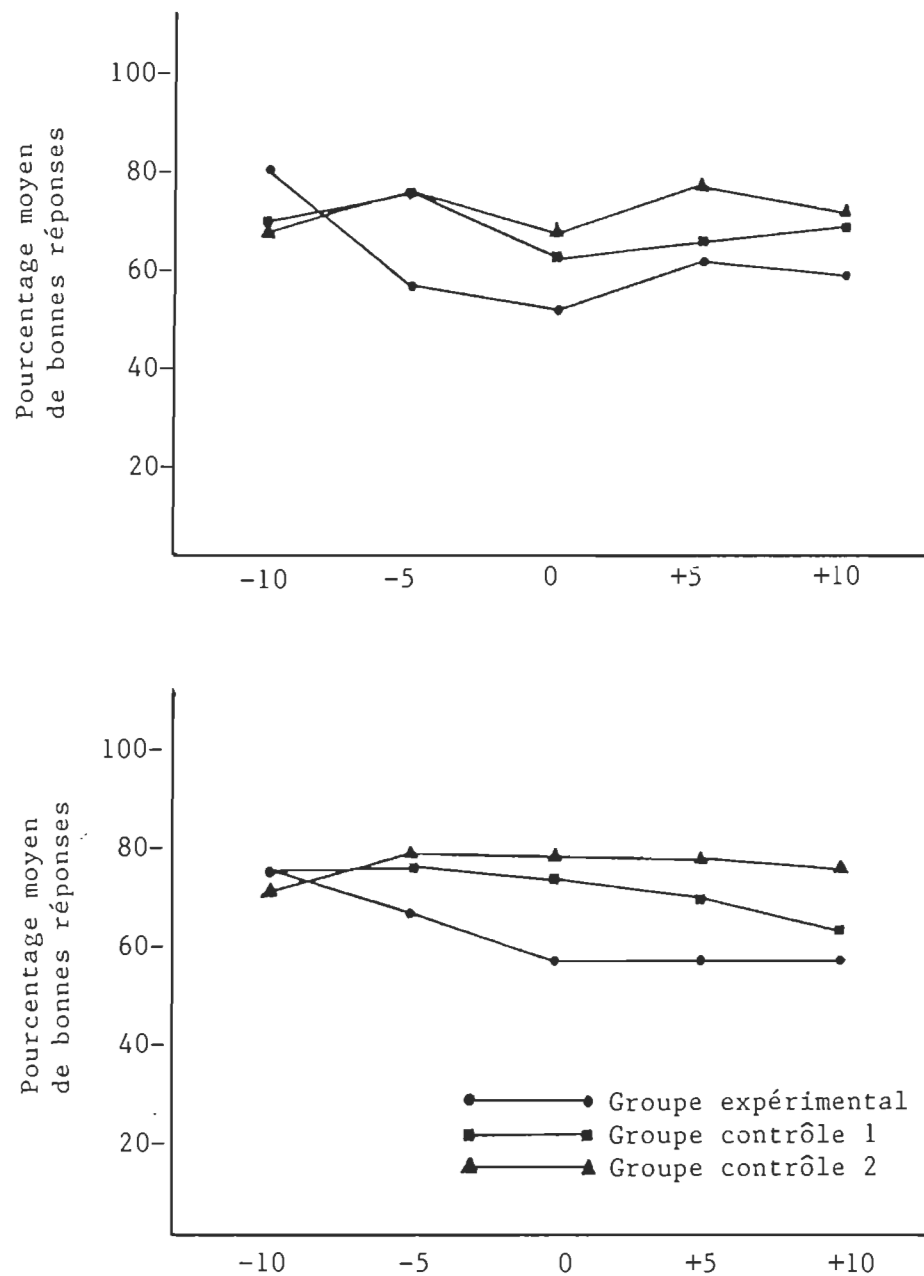


Fig. 15- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour les divers groupes de sujets en fonction du degré d'excentricité du stimulus. La figure du haut présente ces résultats pour une disparité rétinienne de  $-1.5^\circ$  et celle du bas, pour une disparité de  $-1.0^\circ$ .



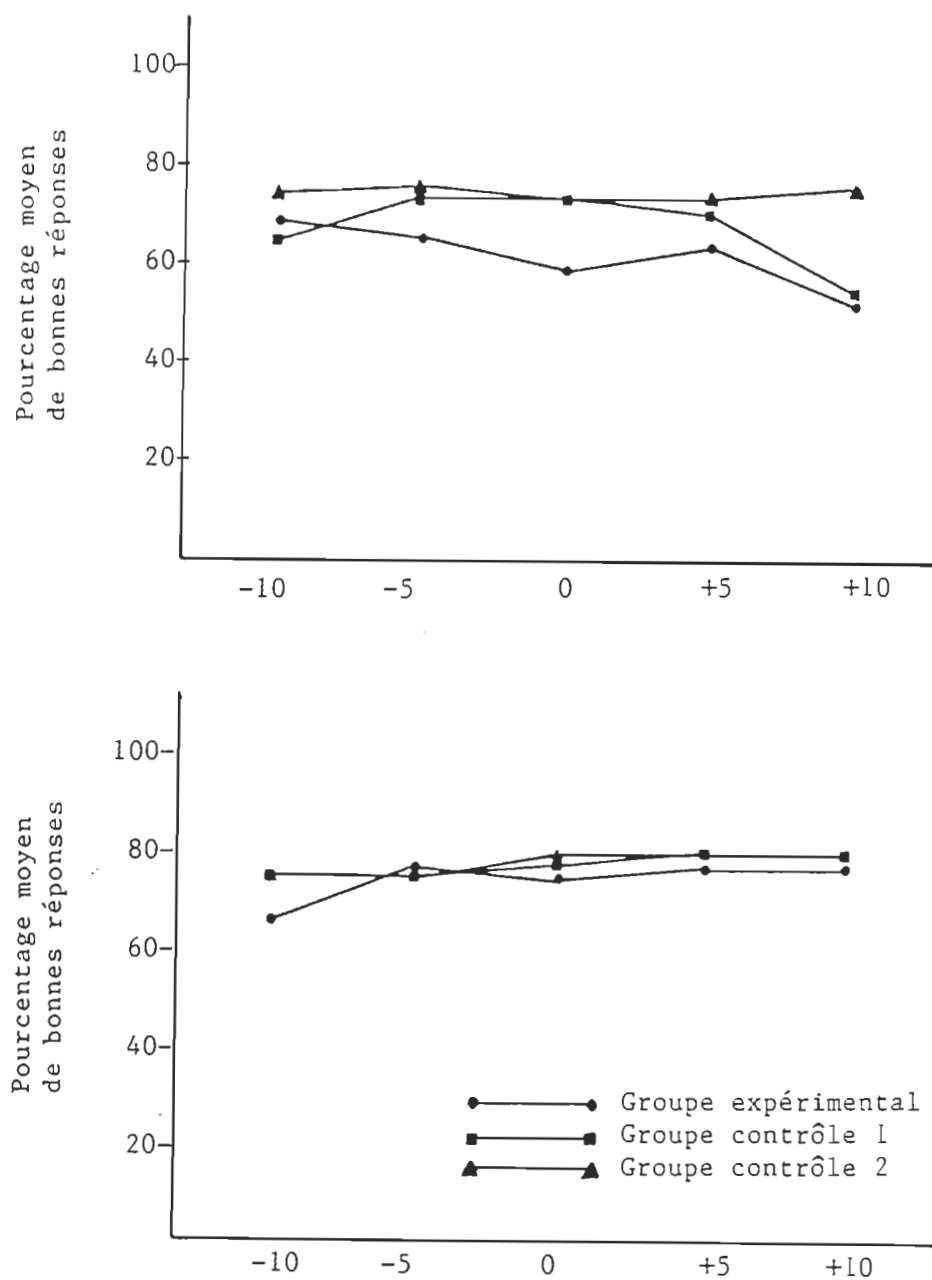


Fig. 16- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour les divers groupes de sujets en fonction du degré d'excentricité du stimulus. La figure du haut présente ces résultats pour une disparité rétinienne de  $-0.5^\circ$  et celle du bas pour une disparité de  $+0.5^\circ$ .

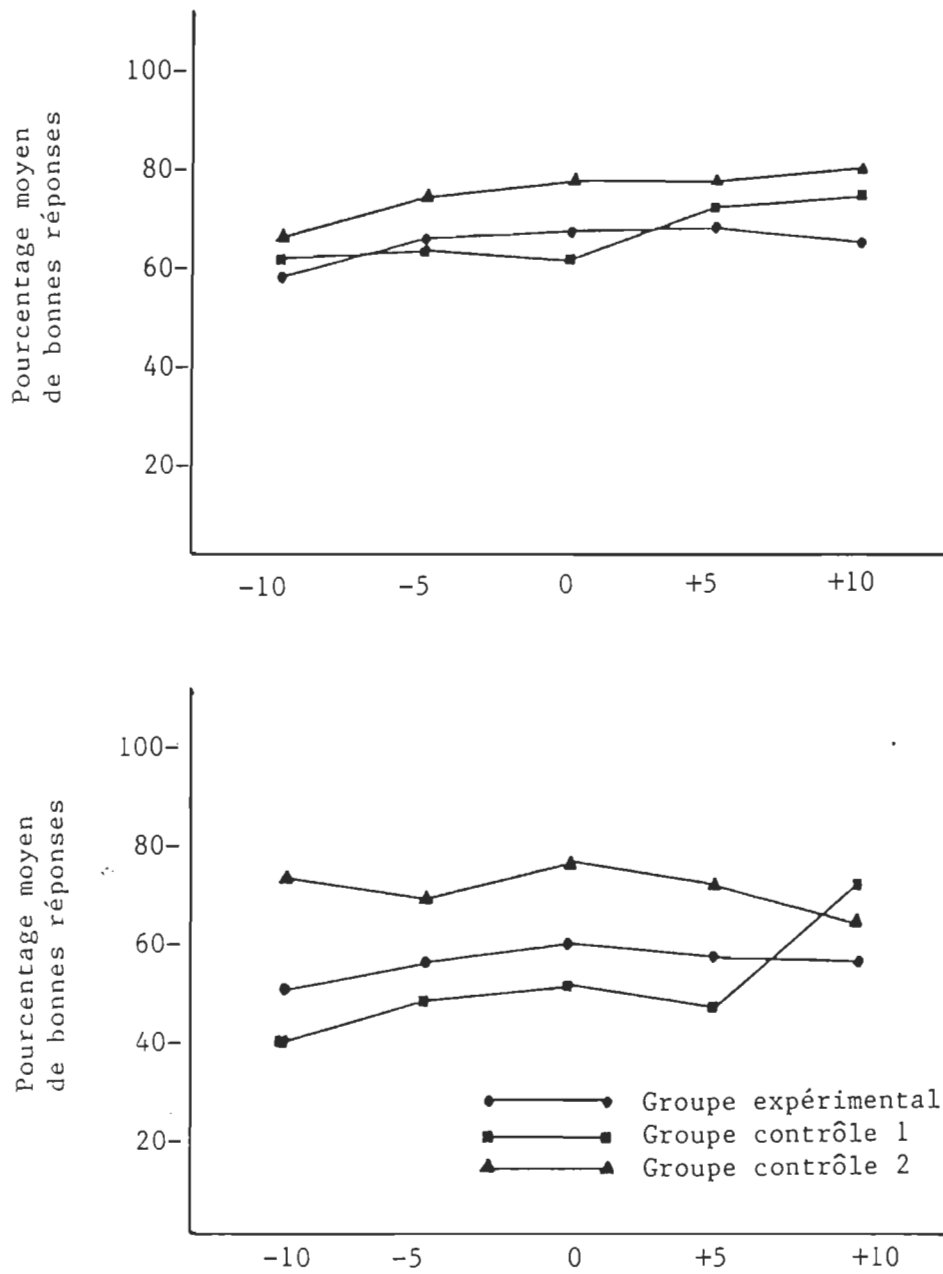


Fig. 17- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour les divers groupes de sujets en fonction du degré d'excentricité du stimulus. La figure du haut présente ces résultats pour une disparité rétinienne de  $1.0^{\circ}$  et celle du bas pour une disparité de  $1.5^{\circ}$ .

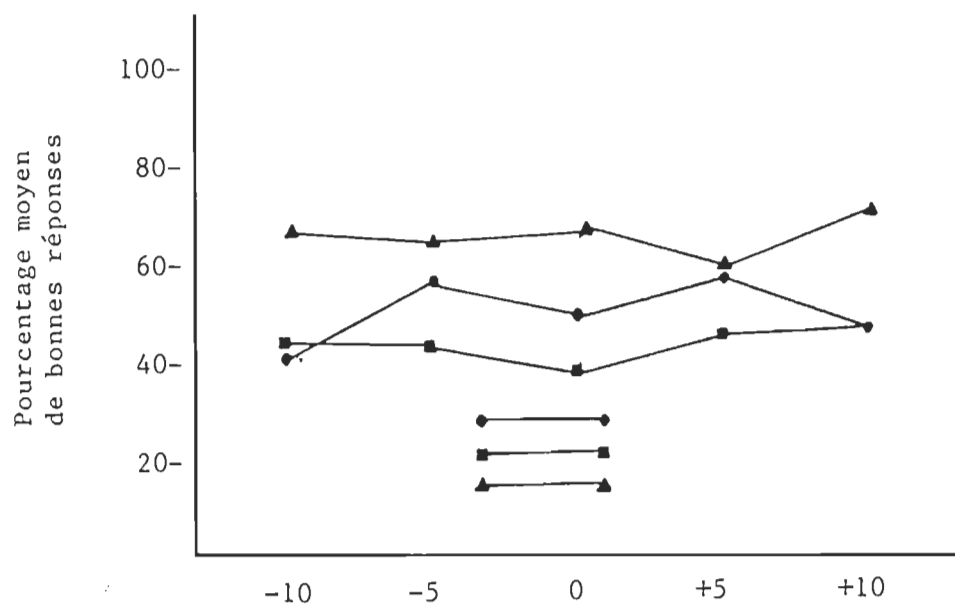


Fig. 18- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour les divers groupes de sujets en fonction du degré d'excentricité du stimulus et ce, pour une disparité rétinienne de  $2.0^{\circ}$ .

façon évidente dans les figures présentées compte tenu de la diversité des tracés dessinés par les courbes. Dans ce sens, la présence ou non de corps calleux n'influencerait pas la discrimination de stéréogramme de Julesz. Cependant, il semble exister une certaine homogénéité des résultats à l'excentricité 0° au niveau de la disparité rétinienne selon laquelle le stimulus était présenté. La figure 19, illustre ces résultats pour les trois groupes de sujets. D'après cette figure, bien que l'absence de corps calleux ne semble pas affecter la vision divergente, l'allure des courbes démontre que l'absence de cette structure influencerait la discrimination convergente en vision centrale. Cependant, une analyse de variance effectué sur la réussite de tous les sujets en vision convergente ne montre pas de différence significative. ( $CM = 0.2545$ ,  $dl = 2$ ,  $CM \text{ intra} = 0.0935$ ,  $dl = 9$ ;  $F = 2.722$  donc NS). De plus, lorsque le temps d'exposition du stimulus est plus long (300 ms), leur capacité de discrimination convergente en vision centrale est meilleure (voir figure 24 en appendice J) même qu'elle est supérieure à celle des sujets contrôles et ce, pour tous les degrés de disparité (voir figure 25 en appendice K). L'augmentation du temps d'exposition du stimulus semble avoir un effet bénéfique sur la capacité de discrimination des sujets acalleux. Ainsi, l'absence de corps calleux ne semble pas influencer la capacité de discrimination en vision centrale, si ce n'est qu'elle ralentie les fonctions cérébrales des sujets, ce qui expliquerait la différence de performance observée entre les sujets acalleux et contrôles en vision convergente.

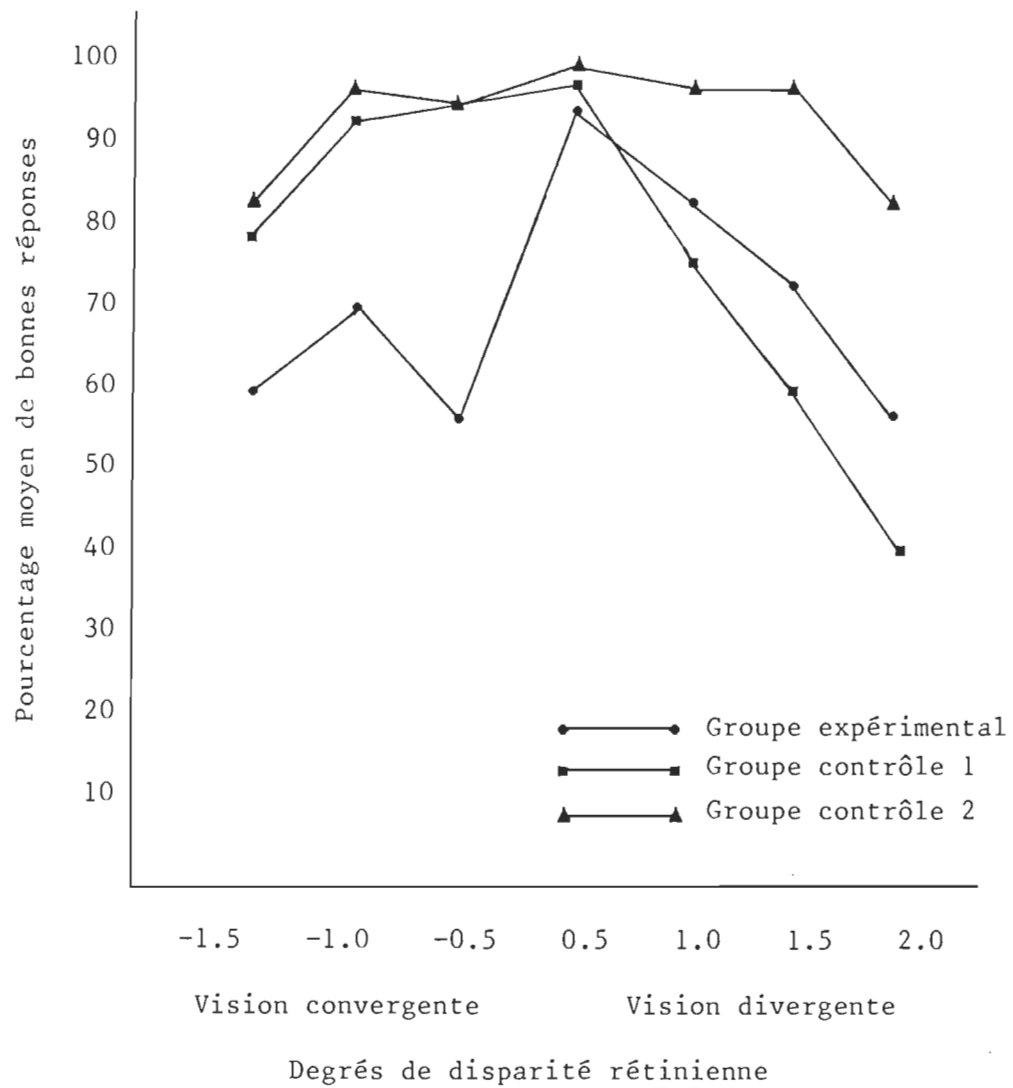


Fig. 19- Pourcentage moyen de bonnes réponses à l'excentricité zéro pour chaque groupe de sujets en fonction du degré de disparité rétinienne.

## Chapitre IV

### Discussion

Notre recherche démontre que l'excentricité du stimulus influence de façon idiosyncrasique la perception de stéréogrammes de Julesz. Chez les sujets acalleux, la stéréopsie ne semble pas plus ou moins facile en vision para-centrale qu'en vision centrale ou périphérique comme le rapportait Blakemore (1970), l'effet "M" qu'il avait observé dans son étude n'est que trop faiblement répété dans notre recherche pour en tirer l'évidence. Une étude similaire à la nôtre et celle de Blakemore avait enregistré la performance de sujets acalleux dans une tâche de stéréopsie grossière en fonction du degré d'excentricité du stimulus (Lassonde et al., sous presse). Les résultats de cette recherche révélaient que le degré d'excentricité selon lequel le stimulus est présenté influence la stéréopsie grossière. Cette étude, de même que celle de Blakemore (1970), indique bien que l'augmentation du degré d'excentricité diminue la performance, mais contrairement à Blakemore, les résultats de Lassonde et al. stipulent qu'en vision centrale, la discrimination est meilleure qu'en périphérie. Dans une tâche de perception de stéréogrammes de points aléatoires, Julesz (1974) et Lu et al. (1971) rapportaient des résultats similaires aux nôtres. Ils présentaient des stéréogrammes de points aléatoires colorés qui étaient perçus à travers des filtres de couleur. Leurs résultats démontraient que les sujets étaient capables de percevoir la profondeur lorsque le stéréogramme était présenté en vision centrale, bien que leur

performance n'était pas meilleure qu'en périphérie. Dans notre recherche les sujets normaux discriminent aussi bien les stimuli centraux que périphériques, alors que les sujets acalleux ne discriminent pas mieux ou moins bien les stimuli en vision centrale, compte tenu de l'effet idiosynchrastique. Comme dans l'étude de Julesz (1974) et Lu et al. (1971), ils peuvent percevoir la profondeur lorsque le stéréogramme est présenté en vision centrale. Ces observations semblent infirmer l'une des hypothèses initiale voulant que les sujets acalleux discriminent moins bien les stimuli en vision centrale qu'en périphérie et ce, d'autant plus que leur capacité de discrimination en vision centrale n'est pas inférieure à celle des sujets contrôles, lorsque le temps d'exposition du stimulus est augmenté. Alors, l'absence de corps calleux n'affecte pas autant la stéréopsie en vision centrale dans une tâche de discrimination de stéréogrammes de Julesz que le temps de perception des sujets. Par ailleurs, il est possible que le déficit observé chez les acalleux à l'excentricité 0°, soit amplifié par un facteur spécifique intervenant lors de l'enregistrement. Dans notre recherche, un point de fixation situé au centre de l'écran attirait l'attention du sujet. Il divisait la cible en deux parties égales sur un même axe vertical. Cette situation comportant la vision de deux éléments distincts sur un même axe pouvait demander un effort volontaire pour bien discriminer le stimulus et par conséquent, pouvait augmenter la confusion du sujet en le distrayant, d'autant plus que le temps de présentation était relativement court (150 msec).



La disparité rétinienne constitue également une variable importante en stéréopsie. En effet, il semble que l'augmentation du degré de disparité rétinienne diminue la performance et ce, autant en vision convergente que divergente. La performance des sujets chute aux disparités  $-1.5^{\circ}$  et  $+2.0^{\circ}$ , ce qui démontre que la capacité de discrimination devient moins bonne lorsque le stimulus est proximal ou distal. Ogle (1962) et Julesz (1971) avaient étudié les seuils limites de disparité rétinienne nécessaire pour une bonne stéréopsie. Ils rapportaient, de même que notre recherche, qu'au delà de  $\pm 2^{\circ}$ , la stéréopsie disparaît.

Notre recherche démontre également que la capacité de discrimination est meilleure lorsque le degré de disparité rétinienne se rapproche de 0, après quoi, la stéréopsie diminue graduellement. Ces résultats corroborent ceux de Julesz (1974), Blakemore (1970). Dans leurs études, les plus petites disparités produisaient les meilleurs effets.

Richards (1970, 1971) et Jones (1977) avaient observé dans certains cas des différences de capacité dans la perception des stimuli convergents et divergents. Ils remarquaient que certains sujets avaient plus de facilité à percevoir les disparités convergentes, alors que d'autres discriminaient mieux les disparités divergentes. Dans notre recherche, il est intéressant de constater que les résultats de tous les sujets rapportent une chute de performance plus rapide aux disparités divergentes que convergentes. Rappelons que, la disparité maximale utilisée était de  $+2.0^{\circ}$ , car selon Julesz (1971), au-delà de cette

disparité, la stéréopsie disparaît. Cette disparité n'était produite qu'en vision divergente, puisque lors de la pré-expérimentation, les sujets étaient incapables de discriminer la profondeur à une disparité de  $-2.00^\circ$ . Donc, il est normal de voir les résultats chuter plus rapidement aux disparités divergentes que convergentes, à cause de l'inégalité dans le nombre de disparités utilisées. Une distribution égale du nombre de disparités dans les deux conditions aurait été préférable. Par ailleurs, les sujets acalcul discriminant moins bien les stimuli convergents que divergents. Par contre, lorsque le temps d'exposition du stimulus est augmenté, leur capacité de discrimination est comparable aux sujets normaux. Alors, les sujets acalcul mettent plus de temps pour discriminer la profondeur à partir de stéréogrammes de points aléatoires. Ainsi, nos résultats confirment l'hypothèse de Lassonde et al. (1984) concernant le rôle facilitateur du corps calleux dans la perception de la profondeur.

D'importantes différences de performance ont particulièrement été observées dans la discrimination des stéréogrammes en fonction du degré de disparité rétinienne et d'excentricité. L'interaction de ces deux variables s'avère déterminante dans la qualité de la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz. En effet, les sujets discriminent mieux les stimuli divergents dans le champ visuel droit et les stimuli convergents dans le champ visuel gauche. Aucune recherche antérieure n'a pu fournir d'éléments permettant de comprendre ce phénomène. Cependant, il est connu que chaque hémisphère cérébral régit des fonctions spécifiques. Par exemple, selon Broca (1865), le centre régissant le langage articulé serait localisé dans une aire du cortex

frontal gauche. Vingt ans plus tard, Wernicke ajouta qu'une lésion postérieure de l'hémisphère gauche engendre une perturbation dans la compréhension du langage. Babinski (1914) et Brain (1941) ont démontré des caractéristiques particulières à l'hémisphère droit. Les malades atteints de lésions à l'hémisphère droit semblent perdre la connaissance de l'espace extra-corporel situé à gauche et peuvent même nier le déficit moteur qui affecte leur côté gauche. Dans ce sens, nos résultats indiquent une différence fonctionnelle entre les deux hémisphères cérébraux. Il semble que l'hémisphère gauche perçoive mieux les stimuli divergents, et que le droit discrimine mieux les stimuli convergents. Il serait intéressant qu'une recherche ultérieure vérifie cette hypothèse.

Dans notre étude, les sujets agénésiques calleux réussissent à discriminer la profondeur à partir de stéréogrammes de points aléatoires, bien qu'il montre une faiblesse en vision divergente et un déficit plus important en vision convergente. Par contre, l'augmentation du temps d'exposition du stimulus améliore la stéréopsie et ce, quel que soit l'excentricité ou la disparité du stimulus. Alors, l'absence de corps calleux n'influence que très peu de la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz, et ce probablement au niveau du temps de perception des sujets. Donc, nos résultats confirment l'hypothèse de Lepore et al. (sous-presse) qui avaient enregistré la performance de chats callosotomisés dans une tâche de perception de stéréogrammes de Julesz. Les résultats révélaient que le corps calleux n'influence peu ou pas la performance.

Tout semble indiquer que la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz serait régie par une structure cérébrale autre que le corps calleux. En effet, lorsque le stimulus est présenté en périphérie, les cellules réceptrices de la rétine n'envoient leurs signaux qu'à un seul hémisphère cérébral soit, celui de gauche pour les éléments du champ visuel droit et celui de droite pour les éléments du champ visuel gauche. Dans notre expérience, deux demi-stéréogrammes étaient simultanément présentés, mais dans un seul champ visuel à la fois, l'information étant acheminée à un seul hémisphère cérébral par le biais du chiasma optique et des voies ipsilatérales. Alors, les cellules du cortex visuel recevaient l'information binoculaire nécessaire à la discrimination de la profondeur. Dans ce cas, le chiasma optique pouvait assurer à lui seul la stéréopsie en périphérie. En vision centrale, le mécanisme perceptuel semble plus complexe. Selon Bishop (1981), les éléments situés devant ou derrière le point de fixation chutent sur le recouvrement naso-temporal et ce, à condition que la disparité soit inférieure à  $2^{\circ}$  d'arc. Dans un tel cas, ces éléments sont acheminés au cortex visuel par le biais du chiasma optique.

Nous croyons que le recouvrement naso-temporal a assuré la vision binoculaire de la profondeur pour les éléments situés devant ou derrière le point de fixation parce que les degrés de disparités rétinienne utilisés étaient inférieures à  $2^{\circ}$ . Si tel est le cas, le chiasma optique pourrait assurer à lui seul l'acheminement de l'information binoculaire nécessaire à la perception de la profondeur à partir des stéréogrammes de Julesz et ce, quelle que soit l'excentricité ou la disparité du stimulus.

## Conclusion

Cette étude sur la stéréopsie apporte quelques éclaircissements sur le fonctionnement perceptuel de l'homme. Les théories de localisations cérébrales ont le mérite d'avoir identifié avec précisions les origines de ce processus, mais son fonctionnement global se révèle d'une plus grande complexité. Il est vrai que l'oeil et le chiasma optique sont impliqués dans le mécanisme perceptuel de la profondeur, tout comme le corps genouille latéral, les radiations optiques, le corps calleux et les aires du cortex visuel. La perception binoculaire de la profondeur et plus spécifiquement la stéréopsie locale, grossière, résulte de la coordination de ces différentes structures. Par contre, le mécanisme de stéréopsie qui intervient dans la perception de stéréogrammes de points aléatoires ne dépend plus du corps calleux, mais des autres structures précédemment citées. Donc, l'absence de corps calleux n'influence que très peu une tâche de discrimination de la profondeur à partir de stéréogrammes de points aléatoires.

La présente recherche ayant pour objectif précis de vérifier l'implication du corps calleux dans une telle tâche arrive donc à sa fin, puisque les résultats infirment les hypothèses initiales. En effet, l'absence de corps calleux n'affecte que très légèrement la stéréopsie à partir de stéréogrammes de Julesz et ce, quel que soit le degré d'excentricité ou de disparité du stimulus. De plus, bien que les sujets acalleux discriminent moins bien les stimuli lorsque les disparités sont accentuées, leur performance n'est pas significativement

inférieure aux sujets contrôles. Il semble que le ralentissement des fonctions cérébrales causé par l'absence de corps calleux soit à l'origine des légers déficits observés chez les sujets agénésiques calleux. Donc le rôle de cette structure dans la perception de la profondeur à partir de stéréogrammes de Julesz se limiterait à faciliter la discrimination.

Chaque hémisphère semble recevoir suffisamment d'information pour extrapoler la perception de la profondeur attendue par le stimulus sans l'utilisation de corps calleux. C'est donc dire, qu'une structure cérébrale, autre que le corps calleux, joue un rôle déterminant dans la stéréopsie à partir de stéréogrammes de points aléatoires. Bishop (1981) disait que le chiasma optique et le recouvrement naso-temporal (acheminé au cortex par le chiasma optique) pouvaient être importants dans une tâche où les cibles ne sont pas séparées par plus de  $2^0$  de disparité rétinienne. Alors, il est possible que, dans notre recherche, le chiasma optique ait assuré à lui seul, l'acheminement de l'information binoculaire de la profondeur.

Dans le but de vérifier cette explication possible concernant l'importance du chiasma optique dans la perception de la profondeur à partir de stéréogrammes de Julesz, une étude ultérieure faisant appel à un plus grand nombre de sujets et utilisant une plus grande variété de disparités rétiniennes serait intéressante.

Une telle recherche permettrait non seulement d'identifier la voie d'acheminement de l'information binoculaire relative à la percep-

tion de stéréogrammes de Julesz, mais apporterait également quelques éléments de discussion touchant aux particularités de ce type de stéréopsie face à la stéréopsie locale qu'elle soit fine ou grossière.



## Appendice A

Acuité visuelle des sujets composant  
le groupe expérimental et les deux groupes contrôles

Résultats des sujets de  
chaque groupe au test d'acuité visuelle\*

		Oeil gauche	Oeil droit	Deux yeux
Groupe expérimental	Sujet 1	25/20	25/20	25/20
	Sujet 2	25/20	25/20	25/20
	Sujet 3	20/20	25/20	25/20
	Sujet 4	20/20	25/20	25/20
Groupe contrôle 1	Sujet 1	25/20	25/20	25/20
	Sujet 2	20/20	25/20	25/20
	Sujet 3	20/20	25/20	25/20
	Sujet 4	20/20	25/20	25/20
Groupe contrôle 2	Sujet 1	25/20	25/20	25/20
	Sujet 2	25/20	25/20	25/20
	Sujet 3	25/20	25/20	25/20
	Sujet 4	20/20	25/20	25/20

\* mesurés à partir de la carte de Graham-Field no: 2867-1240

## Appendice B

### Résultats au test d'intelligence

Résultats des sujets de chaque groupe  
au test d'intelligence\*

		Q1 verbal	Q1 non-verbal	Q1 global
Groupe expérimental	Sujet 1	71*	87*	77*
	Sujet 2	81	81	78
	Sujet 3	73*	80*	74*
	Sujet 4	54*	74*	64*
Groupe contrôle 1	Sujet 1	75*	71*	73*
	Sujet 2	74	84	79
	Sujet 3	85	94	88
	Sujet 4	67	72	68
Groupe contrôle 2	Sujet 1	114	123	119
	Sujet 2	122	129	125
	Sujet 3	120	124	123
	Sujet 4	124	126	128

\* Résultats obtenus d'après le WISC-R.

## Appendice C

### Résultats détaillés de chaque groupe

Nombre de réussites effectuées par le groupe expérimental  
et les deux groupes contrôles en fonction des degrés  
d'excentricité et de disparité rétinienne exprimé  
d'après la transformation angulaire de Fisher\*

		Degrés de disparité rétinienne						
		-1.5	-1.0	-0.5	0.5	1.0	1.5	2.0
Groupe expérimental	Excentricité -10°	78.60	73.25	69.75	64.15	57.15	49.18	39.95
	Excentricité - 5°	54.95	65.20	66.83	75.93	63.58	54.55	54.55
	Excentricité 0°	49.43	55.53	59.15	73.25	65.25	58.27	48.10
	Excentricité + 5°	59.15	55.65	63.58	75.93	66.03	55.53	56.05
	Excentricité +10°	57.90	55.75	53.45	75.93	64.15	55.65	47.80
Groupe contrôle 1	Excentricité -10°	67.90	73.25	66.03	74.05	59.15	38.85	40.35
	Excentricité - 5°	74.05	74.05	74.05	74.05	62.53	46.98	41.45
	Excentricité 0°	61.03	72.42	74.06	75.93	59.03	49.55	38.60
	Excentricité + 5°	64.40	68.25	71.38	78.60	68.70	44.98	45.35
	Excentricité +10°	67.88	61.03	54.55	78.60	72.43	69.75	47.68
Groupe contrôle 2	Excentricité -10°	65.58	69.75	73.25	74.05	63.58	71.38	65.20
	Excentricité - 5°	73.25	75.93	75.93	74.05	71.38	67.08	63.33
	Excentricité 0°	64.95	75.93	73.25	78.60	75.93	75.93	65.58
	Excentricité + 5°	74.05	75.93	73.25	78.60	75.93	70.58	58.30
	Excentricité +10°	69.75	74.05	75.93	78.60	78.60	63.70	69.75

\*  $\sin^{-1} \sqrt{\frac{x + 3/8}{\text{Max} + 3/4}}$

## Appendice D

Résultats détaillés des sujets  
composant le groupe expérimental  
et les deux groupes contrôles

Nombre de réussites effectuées par chaque sujet du groupe expérimental  
en fonction des degrés d'excentricité et de disparité rétinienne  
exprimé d'après la transformation angulaire de Fisher\*

			Degrés de disparité rétinienne						
			-1.5	-1.0	-0.5	0.5	1.0	1.5	2.0
EXCENTRICITÉ	-10 degrés	Sujet 1	78.6	78.6	53.9	67.9	53.9	53.9	47.9
		Sujet 2	78.6	67.9	78.6	60.4	60.4	60.4	47.9
		Sujet 3	78.6	67.9	78.6	60.4	60.4	60.4	42.0
		Sujet 4	78.6	78.6	67.9	67.9	53.9	22.0	22.0
	-5 degrés	Sujet 1	67.9	67.9	67.9	78.6	78.6	67.9	60.4
		Sujet 2	67.9	78.6	78.6	78.6	67.9	60.4	67.9
		Sujet 3	42.0	60.4	60.4	67.9	53.9	47.9	42.0
		Sujet 4	42.0	53.9	60.4	78.6	53.9	42.0	47.9
	0 degré	Sujet 1	53.9	53.9	67.9	78.6	67.9	78.6	60.4
		Sujet 2	53.9	53.9	60.4	78.6	78.6	78.6	53.9
		Sujet 3	36.0	60.4	47.9	67.9	60.4	53.9	42.0
		Sujet 4	53.9	53.9	60.4	67.9	53.9	22.0	36.0
	+5 degrés	Sujet 1	60.4	60.4	67.9	67.9	67.9	60.4	60.4
		Sujet 2	67.9	47.9	78.6	78.6	60.4	53.9	67.9
		Sujet 3	60.4	60.4	53.9	78.6	67.9	53.9	53.9
		Sujet 4	47.9	53.9	53.9	78.6	67.9	53.9	42.0
	+10 degrés	Sujet 1	67.9	60.4	67.9	78.6	67.9	53.9	53.9
		Sujet 2	67.9	78.6	67.9	78.6	67.9	60.4	53.9
		Sujet 3	47.9	42.0	42.0	78.6	60.4	60.4	53.9
		Sujet 4	47.9	42.0	36.0	67.9	60.4	47.9	29.5

\*sin<sup>-1</sup>

$$\sqrt{\frac{x + 3/8}{\text{Max} + 3/4}}$$



Nombre de réussites effectuées par chaque sujet du groupe contrôle 1  
en fonction des degrés d'excentricité et de disparité rétinienne  
exprimé d'après la transformation angulaire de Fisher\*

		Degrés de disparité rétinienne							
		-1.5	-1.0	-0.5	0.5	1.0	1.5	2.0	
EXCENTRICITÉ	-10 degrés	Sujet 1	67.9	78.6	67.9	78.6	47.9	47.9	53.9
		Sujet 2	67.9	78.6	67.9	60.4	60.4	29.5	36.0
		Sujet 3	67.9	67.9	60.4	78.6	60.4	42.0	42.0
		Sujet 4	67.9	67.9	67.9	78.6	67.9	36.0	29.5
	-5 degrés	Sujet 1	60.4	60.4	60.4	78.6	60.4	67.9	60.4
		Sujet 2	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9	42.0	53.9
		Sujet 3	78.6	78.6	78.6	60.4	53.9	42.0	29.5
		Sujet 4	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9	36.0	22.0
	0 degré	Sujet 1	60.4	53.9	60.4	78.6	67.9	53.9	60.4
		Sujet 2	67.9	78.6	78.6	67.9	53.9	60.4	36.0
		Sujet 3	47.9	78.6	78.6	78.6	60.4	47.9	36.0
		Sujet 4	67.9	78.6	78.6	78.6	53.9	36.0	22.0
	+5 degrés	Sujet 1	67.9	47.9	67.9	78.6	78.6	53.9	67.9
		Sujet 2	67.9	78.6	78.6	78.6	67.9	42.0	42.0
		Sujet 3	67.9	78.6	78.6	78.6	67.9	42.0	42.0
		Sujet 4	53.9	67.9	60.4	78.6	60.4	42.0	29.5
	+10 degrés	Sujet 1	78.6	60.4	67.9	78.6	53.9	67.9	47.9
		Sujet 2	78.6	67.9	60.4	78.6	78.6	78.6	60.4
		Sujet 3	53.9	47.9	42.0	78.6	78.6	78.6	60.4
		Sujet 4	60.4	67.9	47.9	78.6	78.6	53.9	22.0

\*  $\sin^{-1} \sqrt{\frac{x + 3/8}{\text{Max} + 3/4}}$

Nombre de réussites effectuées par chaque sujet du groupe contrôle 2  
en fonction des degrés d'excentricité et de disparité rétinienne  
exprimé d'après la transformation angulaire de Fisher\*

		Degrés de disparité rétinienne						
		-1.5	-1.0	-0.5	0.5	1.0	1.5	2.0
EXCENTRICITÉ	-10 degrés	Sujet 1	47.9	53.9	67.9	78.6	78.6	78.6
		Sujet 2	67.9	78.6	78.6	78.6	67.9	67.9
		Sujet 3	78.6	67.9	67.9	78.6	53.9	60.4
		Sujet 4	67.9	78.6	78.6	60.4	53.9	53.9
	-5 degrés	Sujet 1	67.9	78.6	78.6	78.6	60.4	67.9
		Sujet 2	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9
		Sujet 3	67.9	78.6	67.9	78.6	78.6	60.4
		Sujet 4	78.6	67.9	78.6	60.4	67.9	53.9
	0 degré	Sujet 1	60.4	78.6	67.9	78.6	78.6	78.6
		Sujet 2	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9	47.9
		Sujet 3	60.4	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9
		Sujet 4	60.4	67.9	67.9	78.6	78.6	67.9
	+5 degrés	Sujet 1	78.6	78.6	67.9	78.6	78.6	67.9
		Sujet 2	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9
		Sujet 3	60.4	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9
		Sujet 4	78.6	67.9	67.9	78.6	67.9	67.9
	+10 degrés	Sujet 1	67.9	78.6	78.6	78.6	78.6	47.9
		Sujet 2	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9
		Sujet 3	53.9	78.6	78.6	78.6	78.6	67.9
		Sujet 4	78.6	60.4	67.9	78.6	60.4	78.6

\*  $\sin^{-1} \sqrt{\frac{x + 3/8}{\text{Max} + 3/4}}$

## Appendice E

Figure illustrant la performance des sujets acalleux  
en fonction du temps d'exposition du stimulus  
et de son degré de disparité

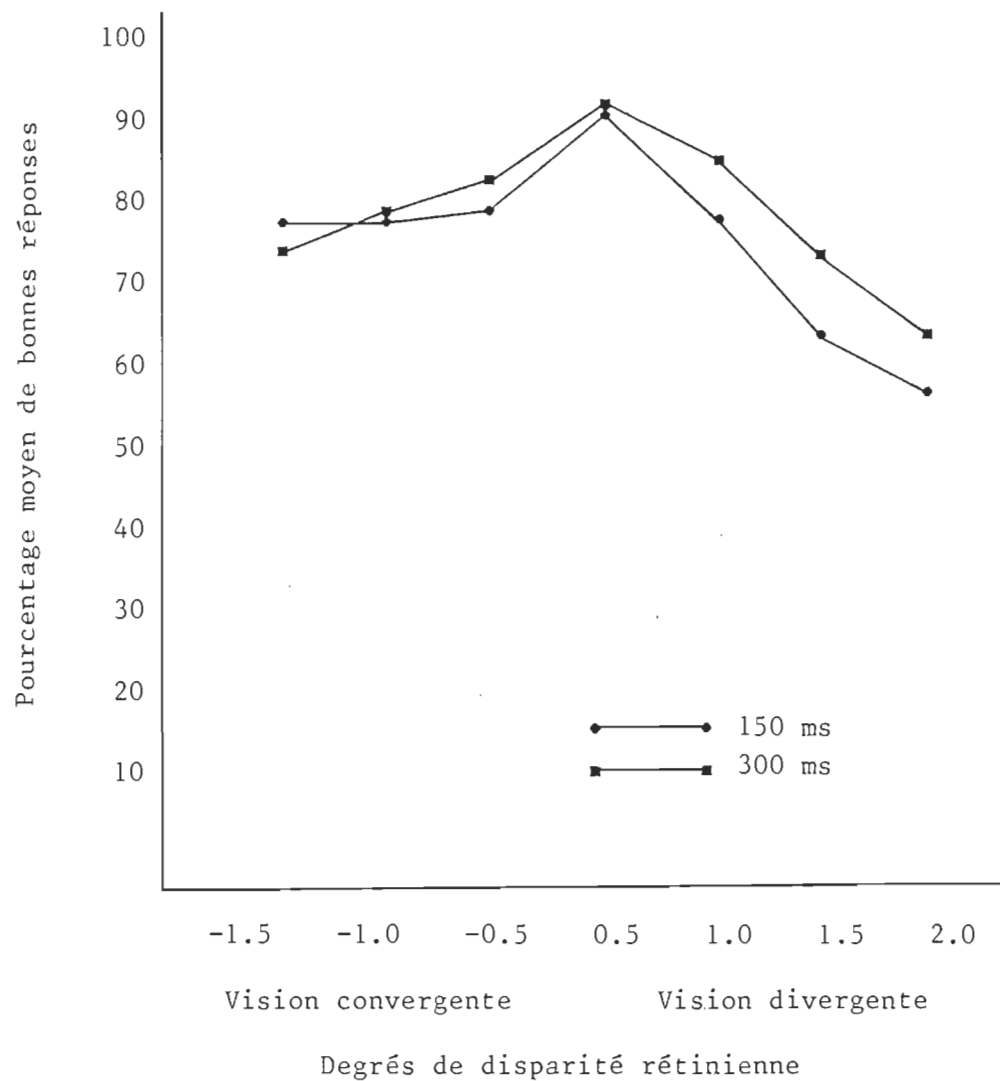


Fig. 20- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour le groupe expérimental en fonction du temps d'exposition du stimulus et de son degré de disparité.

## Appendice F

Figure comparant la performance des sujets acalleux  
à 300 ms à celle des sujets contrôles à 150 ms  
en fonction du degré de disparité

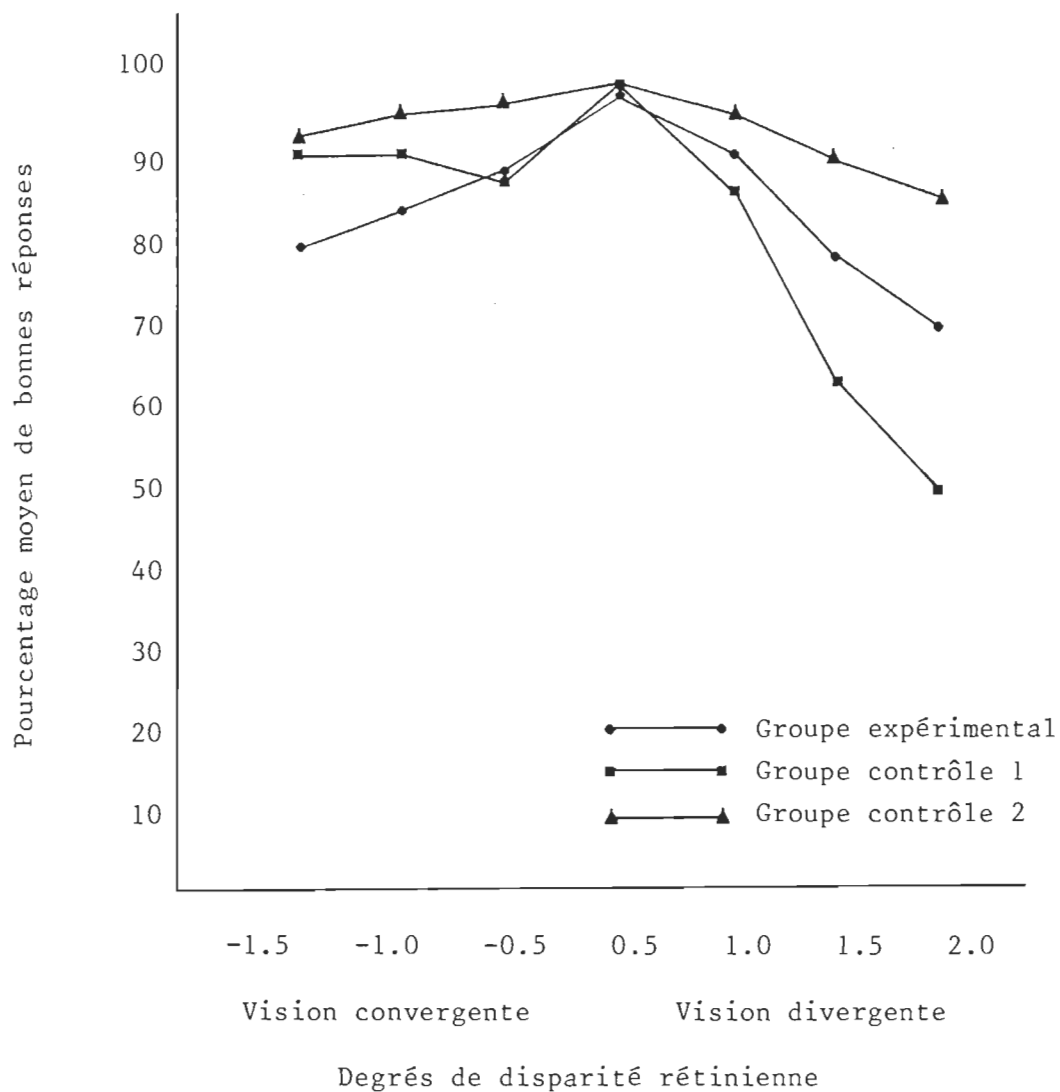


Fig. 21- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour le groupe expérimental lorsque le stimulus est présenté pendant 300 ms et pour les groupes contrôles lorsque le stimulus est présenté pendant 150 ms et ce, en fonction du degré de disparité rétinienne.

## Appendice G

Figures comparant la performance des sujets acalieux  
en fonction du temps de présentation du stimulus  
et de son degré d'excentricité et de  
disparité rétinienne

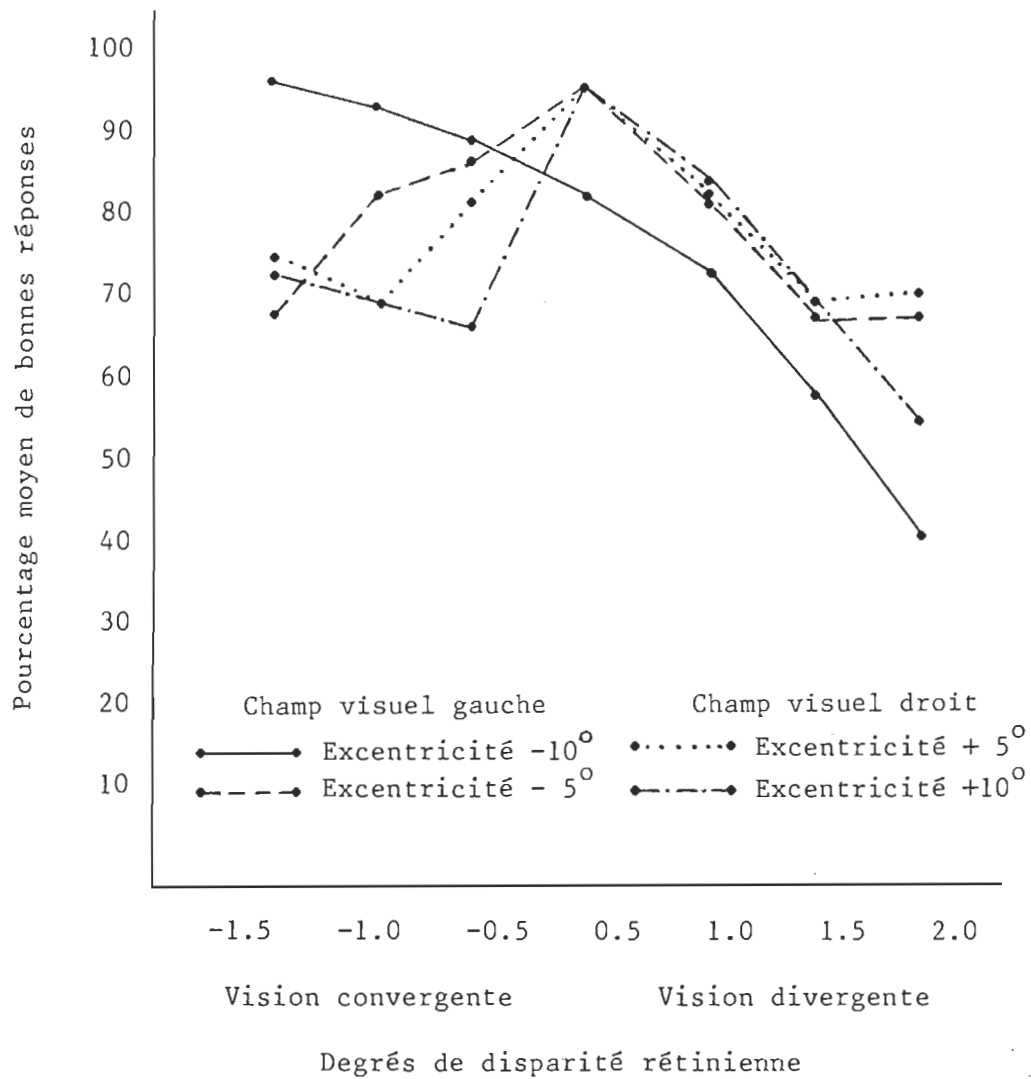


Fig. 22- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour le groupe expérimental (acalleux) en fonction du degré d'excentricité et de disparité rétinienne du stimulus lorsque celui-ci est présenté pendant 150 ms.



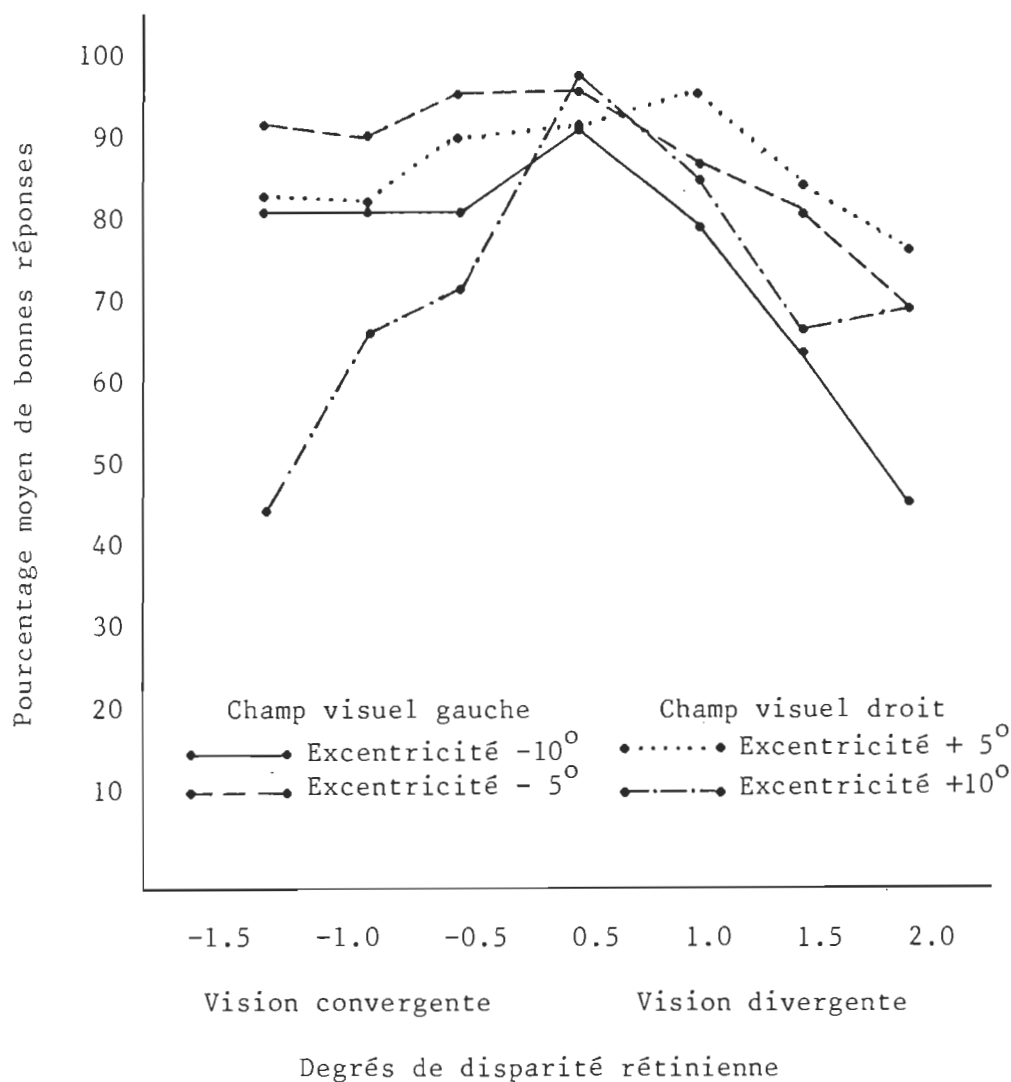


Fig. 23- Pourcentage moyen de bonnes réponses pour le groupe expérimental (acalleux) en fonction du degré d'excentricité et de disparité rétinienne du stimulus lorsque celui-ci est présenté pendant 300 ms.

#### Appendice H

Figure illustrant la performance des sujets acalleux à  
l'excentricité 0° en fonction du temps d'exposition  
du stimulus et de son degré de disparité

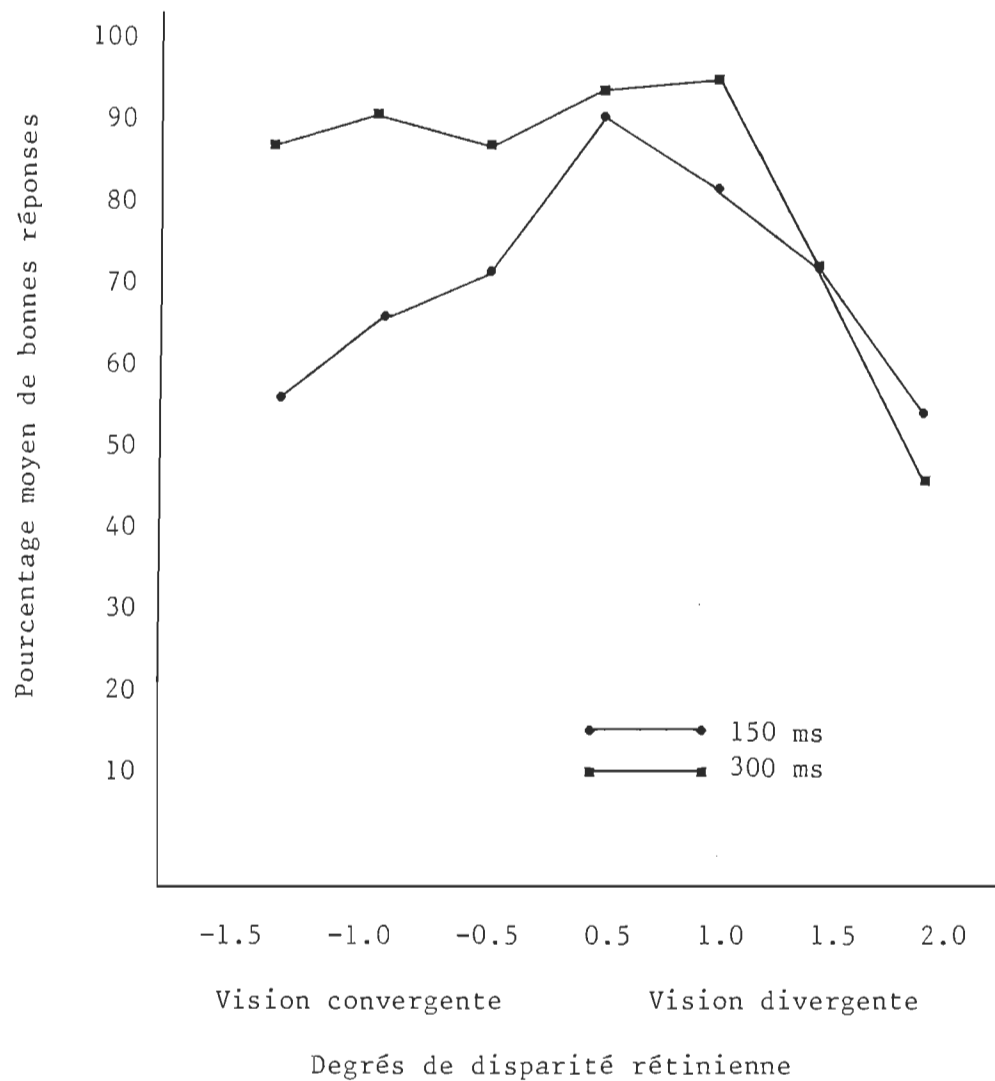


Fig. 24- Pourcentage moyen de bonnes réponses à l'excentricité 0° pour le groupe expérimental en fonction du degré de disparité du stimulus et de son temps d'exposition.

## Appendice I

Figure comparant la performance des sujets acalleux  
à celle des sujets contrôles à l'excentricité 0° en  
fonction du temps d'exposition du stimulus et  
de son degré de disparité

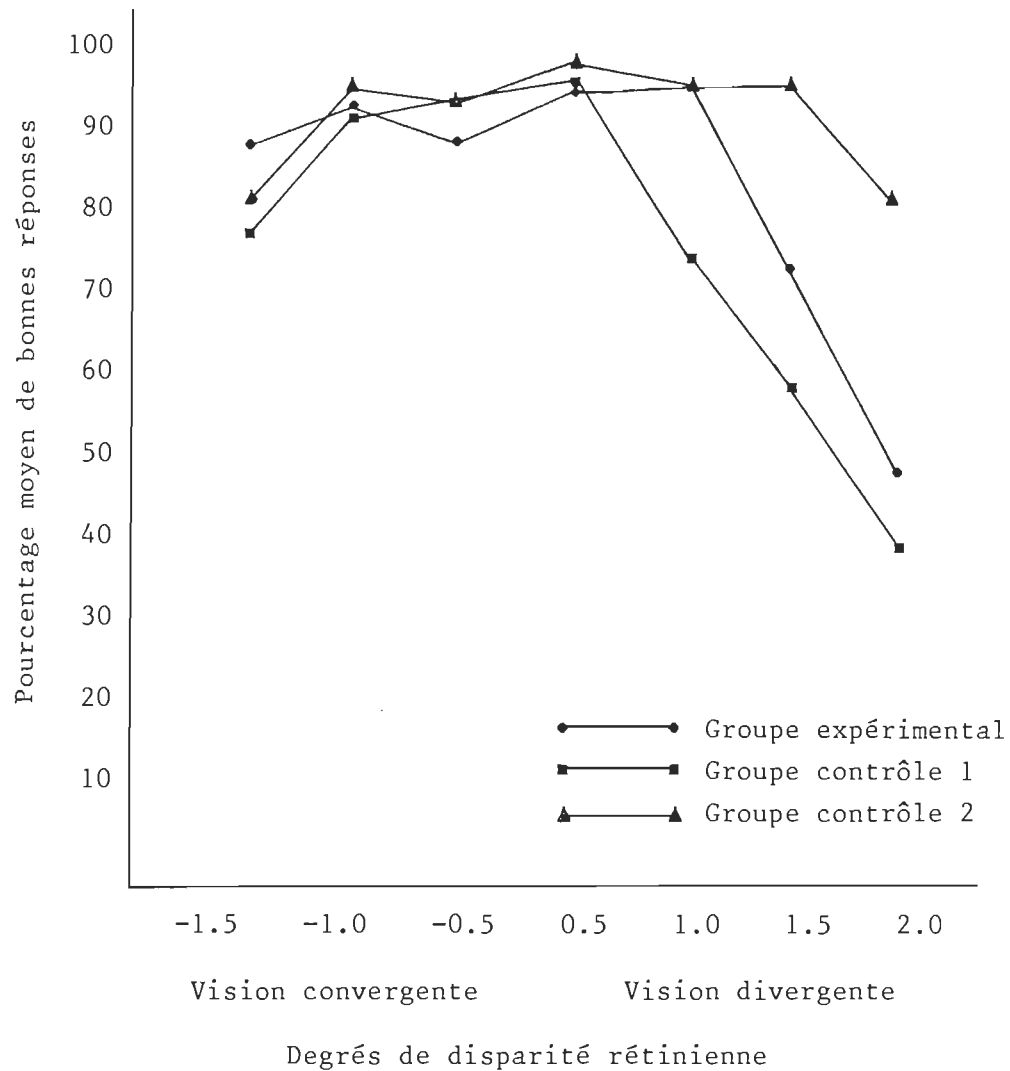


Fig. 25- Pourcentage moyen de bonnes réponses à l'excentricité 0° pour le groupe expérimental lorsque le stimulus est présenté pendant 300 ms et pour les groupes contrôles lorsque le stimulus est présenté pendant 150 ms et ce, en fonction du degré de disparité rétinienne.

## Remerciements

L'auteur désire exprimer sa reconnaissance à sa directrice de thèse, Madame Maryse Lassonde, Ph.D., ainsi qu'à son co-directeur, Monsieur Patrick Cavanagh, Ph.D. à qui il est redevable d'une assistance constante et éclairée. L'auteur remercie également Monsieur Louis Laurencelle, Ph.D. pour ses précieux conseils et son assistance au niveau statistique.

Nous voulons souligner spécialement l'aide apportée par Monsieur Louis Dionne, M.A. au niveau de l'élaboration du montage expérimental et du programme informatique servant à l'opérationnalisation de l'expérience.

## Références

- ANDERMANN, E., ANDERMANN, F., BERGERON, D., LANGEVIN, P., NAGY, R., BERGERON, J. (1979). Familial agenesis of the corpus callosum with sensory motor neuropathy: genetic and epidemiological studies on over 170 patients. Canadian journal of neurological sciences, 6, 400.
- ANTONINI, A., BERLUCCHI, G., LEPORE, F. (1983). Physiological organization of callosal connections of a visual suprasylvian cortical area in the cat. Journal of Neurophysiology, 49, 902-921.
- ARNOUX, C. (1966). Les commissures télencéphaliques, leurs variations et leurs suppléances. Bulletin de l'association des anatomistes. 51ème réunion. Marseille. 3-7 avril. 117-122.
- BABINSKI, K. (1914). Dans GELINAS, C. (1984). Implication différentielle des hémisphères cérébraux dans l'analyse de paramètres linguistiques. Thèse de maîtrise inédite. Université du Québec à Trois-Rivières.
- BARR, M.L. (1979). The human nervous systems: an anatomical view point. 3ième édition, Hagerstone M: Medical dept. Harper and Row, N.Y.
- BARLOW, H.B., BLAKEMORE, C., PETTIGREW, J.D. (1978). Analysis of retinal correspondance by studying receptive fields of binocular single units in cat striate cortex. Experimental brain research. 6, 353-372.
- BERLUCCHI, G. (1972). Anatomical and physiological aspects of visual functions of corpus callosum. Brain research, 37, 371-392.
- BISHOP, P.O., HENRY, G.H. (1971). Spatial vision. Annual review of psychology, 22, 119.
- BISHOP, P.O. (1975). Binocular vision. Adler's physiology of the eye. A clinical application. C.V. Mosby Company. St-Louis. USA, (pp 558-615).
- BISHOP, P.O. (1981). Binocular vision. Adler's physiology of the eye. A clinical application. C.V. Mosby Company. ed. Moses. London. (pp 575-649).
- BLAKEMORE, C. (1969). Binocular depth discrimination and the nasotemporal division. Journal of physiology. 205. 471-497.



- BLAKEMORE, C. (1970). The range of scope of binocular depth discrimination in man. Journal of physiology. 211, 599-622.
- BLAKEMORE, C. (1970b). Binocular depth perception and the optic chiasm. Vision research. 10. 43.
- BRAIN, C. (1914). dans GELINAS, C. (1984). Implication différentielle des hémisphères cérébraux dans l'analyse de paramètres linguistiques chez les dysphasiques. Thèse de maîtrise inédite. Université du Québec à Trois-Rivières.
- BRAUNSTEIN, M.L. (1976). Depth perception through motion. Academic press: Academic press series in cognition and perception. New York.
- BREMER, R. (1966). Le corps calleux dans la dynamique cérébrale. Experiencia, 22, 4, 201-208.
- BREMER, F. (1967). La psychologie du corps calleux à la lumière de travaux récents. Anal Medical, 38, 835-43.
- BRIDGEMAN, C.S., SMITH, K.V. (1945). Journal of comportemental neurology. 83, 57.
- BRION, S., JEDYNAK, C.P. (1975). Les troubles du transfert inter-hémisphérique. Rapport de neurologie. Bruxelles: Masson et Cie.
- BROCA, P. (1865) dans GELINAS, C. (1984). Implication différentielle des hémisphères cérébraux dans l'analyse de paramètres linguistiques chez les dysphasiques. Thèse de Maîtrise inédite. Université du Québec à Trois-Rivières.
- BURIAN, H., VON NOORDEN, G. (1974). Binocular vision and ocular motivity. Mosly, St-Louis, USA. (pp 214-275).
- CARPENTER, R.H.S. (1977). Movements of the eyes. R.H.S. Carpenter, ed. Pion. London.
- CARTERETTE, E., FRIEDMAN, M.P. (1973). Biology of perceptual systems. Ed. Edward C. Carterette and Morton P. Friedman. New York.
- CORNSEWET, T.N. (1970). Visual perception. Academic press New York.
- COWEY, A., WILKINSON, F., rapporté par COWEY, A., PORTER. (1979). The neurophysiological of cognitive function. Proc. Royal Society London B. 204, 399.
- CYNADER, M., DOBBINS, A., GARDNER, J.C., LEPORE, F., GUILLEMOT, J.P. (1979). Binocular interactions across the corpus callosum. Society of Neuroscience Abstract, 5, 781.

- CYNADER, M., GARDNER, J., DOUGLAS, R.M. (1978). Neural mechanisms of stereoscopic depth perception in cat visual cortex. In cool S, Smith E.L., III (eds.): "Frontiers of Visual Science". Berlin, Heidelberg, New York: Springer, pp. 373-390.
- DODWHEEL, P.C. (1970). Visual pattern recognition. Holt, Rine. Hart and Winston. New York.
- ELBERGER, A. (1984). The role of the corpus callosum in visual development. Two hemispheres one brain, 6ième symposium international; 17 mai. Centre de recherche en sciences neurologiques; faculté de médecine; Université de Montréal.
- ETTLINGER, G., BLAKEMORE, C., MILNER, A.D., WILSON, J. (1974). Agenesis of the corpus callosum: A further behavioural investigation. Brain. 97. 225-234.
- FENDER, D., JULESZ, B. (1967). Extension of Panum's fusional area in binocular stabilized vision. Journal of optometry society of america. 57. 819.
- FRISBY, J.P. (1981). De l'oeil à la vision. Traduit et adapté de l'anglais (Seeing) par Fernand Nathan ed. Paris.
- GAZZANIGA, M.S., BOGEN, J.E., SPERRY, R.W. (1962). Proc. Natn. Acad. Sci. USA. 48. 1765.
- GIBSON, J.J. (1950). The perception of the visual world. Boston Houghton Mifflin. Co.
- GILLAN, B.J. (1968). Perception of slant when perspective and stereopsis conflict. Experiments with aniseikonic lenses. Journal of experimental psychology. 78. 229-305.
- GRABOWSKA, A. (1983). Lateral differences in the detection of stereoscopic depth. Neuropsychologia, vol. 21, 249-257.
- GREGORY, R.L. (1966). L'oeil et le cerveau. La psychologie de la vision. L'univers des connaissances. Hachette, Paris.
- HELMOTZ (1957) dans HELMOTZ (1962). Treatise on psychological optics. vol. 3. traduit de la 3ième édition allemande. J.P.C. Southall. ed. Opt. Soc. Ame. 1925. Republié Doves. New York.
- HENRY, G.H., BISHOP, P.O., COOMBS, J.S. (1969). Inhibitory and subliminal excitatory receptive fields of simple units in cats striate cortex. Vision research, 9, 1289-1296.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1959). Receptive fields of single neurones in cats striate cortex. Journal of physiology, 148. 574-579.

- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in cat's visual cortex. Journal of physiology, 160, 106-154.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1963). Receptive fields of cells in striate cortex of young visually inexperienced kittens. Journal of neurophysiology, 26, 994-1002.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1965). Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual area (18 and 19) of the cat. Journal of neurophysiology, 28, 1029-1040.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1967). Cortical and callosal connection concerned with the vertical meridian of visual field in cat. Journal of neurophysiology, 30, 1561-1573.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1969). Anatomical demonstration of columns in the monkey striate cortex, Nature, 221, 747-750.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1970). Stereoscopic vision in macaque monkey, Nature, 225, 41-42.
- JONES, R. (1977). Anomalies of disparity detection in the human visual system. Journal of physiology, 264, 621-640.
- JOSHUA, D.E., BISHOP, P.O. (1970). Binocular single vision and depth discrimination: receptive field disparities for central and peripheral vision and binocular single units in cat striate cortex. Experimental brain research, 10, 389-416.
- JULESZ, B. (1960). Binocular depth perception of computer generated patterns. Bell. System. Techn. J. 39, 1125.
- JULESZ, B. (1961). Binocular depth perception and pattern recognition. Theoretical information. Fourth London symposium. E.C. Cherry, London. Butterworth.
- JULESZ, B. (1964). Binocular depth perception without familiarity cues, Science, 145, 356-362.
- JULESZ, B. (1971). Foundations of cylopean perception. University of Chicago press. Chicago. USA.
- JULESZ, B. (1974). Cooperative phenomena in binocular depth perception. American sciences, 62, 32-43.
- JULESZ, B. (1978). Global stereopsis, cooperative phenomena in stereoscopic depth perception. In Held, R. et al. Ed. Handbook of sensory physiology, Berlin, Springer-Verlag. 7. 215-256.
- KAROL, E.A., PANDYA, D.N. (1971). The distribution of the corpus callosum in the rhesus monkey. Brain, 94, 471-476.

- KAUFMAN, L. (1974). Sight and mind. An introduction to visual perception. Oxford University press. London.
- KAUFMAN, L. (1979). Perception: The world transformed. N.Y. Oxford University Press.
- KAYE, M., MITCHELL, D.E., CYNADER, M. (1978). Selective loss of binocular depth perception after ablation of cat visual cortex. Nature. 293. 60-62.
- LANDAU, W.M., BISHOP, G.H., CLARE, M.M. (1961). The duterachens of several varieties of evoked responses an odonal and association cortex of the cat. Electroencephalography and Chimical Neurophysiology. 13, 43-53.
- LASSONDE, M., NOLIN, P., LAURENCELLE, L., GEOFFROY, G. (1982). Evaluation neuropsychologique d'enfants atteints d'agénésie du corps calleux. Apprentissage et socialisation. vol. 5. 2. 115-125.
- LASSONDE, M., LEPORE, F., PTITO, M., SAUERWEIN, H. (1984). Apport de la neuropsychologie expérimentale à la neuropsychologie clinique. Revue Québécoise de psychologie, vol.5, no.2, 105-119.
- LASSONDE. M., BOGEN, J., PTITO, M., ST-HILAIRE, J.M., GEOFFROY, G. (1984). Contribution of the corpus callosum to depth perception. soumis à Science. Octobre 1984.
- LEGRAND, Y. (1956). Optique physiologique. L'espace visuel. Tome 3. Ed. Revue d'optique. Paris XV.
- LEGRAND, Y. (1956b). Optique physiologique. Lumières et couleurs. Tome 2. Ed. Revue d'optique. Paris XV.
- LEGRAND, Y. (1960). Les yeux et la vision. Collection: Science et progrès. Dunod. Paris.
- LEGRAND, Y. (1964). Optique physiologique. La dioptrique de l'oeil et sa correction. Tome 1, 3ème édition. Paris.
- LEICESTER, J. (1968). Perception of the visual vertical meridian to cerebral of the cat. Journal of physiology, 31, 371.
- LEPORE, F., GUILLEMOT, J.P. (1982). Visual receptive field properties of cells innervated through the corpus callosum in the cat. Experimental Brain Research, 46, 413-424.
- LEPORE, F., SAMSON, A., MOLOTCHNIKOFF, S. (1983). Effects on binocular interaction of cells in visual corcey of the cat following the transection of optic tract. Experimental Brain research, 50, 392-396.

- LEPORE, F., PTITO, N., LASSONDE, M. Stereo perceptions in cats following calosotomy and/or optic chiasma section, *Experimental brain research*; (sous presse).
- LOWENSTEIN, O., LOWENFELD, I.E. (1962). The pupil. In Dawson H. Ed., *The eye*, vol. 3. Muscular mechanisms. Academic Press, N.Y.
- LU, C., FENDER, P.H. (1972). The interaction of color and luminance in stereoscopic vision. *Investigation ophtalmology*, 11, 482-490.
- MARR, D., NISHIHARA, H.K. (1978). Visual information processing: artificial intelligence and the sensorium sight. *Technology review*, 81, 1-23.
- MARR, D. (1982). Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information. W.H. Freeman and Compagny. San Francisco, USA. 397.
- MILNER, A.P., JEEVES, M.A. (1977). In structure and function of the cerebral commissures. J.S. Russel. M. Van Holf et G. Berlucchi, Ed. Macmillon Co. N.Y.
- MITCHELL, D.E. (1969). Qualitative depth localization with diplopic images of dissimilar shape. *Vision research*, 9, 991.
- MITCHELL, D.E. (1970). Properties of stimuli eliciting vergence eye movements and stereopsis. *Vision research*, 10, 145.
- MITCHELL, D.E., BLAKEMORE, C. (1970). Binocular depth perception and the corpus callosum. *Vision research*, 10, 49-54.
- NORMAN, D.A. (1980). Memory and attention. An introduction to human information processing. Donald A. Norman ed. 2ième Wiley. Toronto.
- OGLE, K.N. (1952). Disparity limits of stereopsis. *Archives ophtalmology* 48, 50.
- OGLE, K.N. (1962). The optical space sens. In Darson. H., ed. *The eye*. Academic press inc. vol 2/9 (pp 211-417).
- PEARSON, H.E., PAYNE, B.R., BERMAN, N. (1984). Role of callosal input in the fonctionnal organization of cat striate cortex. Supplement to Investigative Ophtalmology and visual science, 2513, 278.
- PETTIGREW, J.D., NIKARA, T., BISHOP, P.O. (1968). Binocular interaction on single units in cat striate cortex: Simultaneous stimulation by single moving slit with receptive field in correspondance. *Experimental brain research*, 6, 391-410.
- PIRENNE, M.H. (1972). L'oeil et la vision. ed. Gauthier-Villars. Paris VI.

- POGGIO, G.F., FISHER, B. (1977). Binocular interaction in depth sensitivity of striate cortical neurons of behaving rhesus monkeys. Journal of neurophysiology, 40, 1392-1405.
- POGGIO, G.F. (1980). Neurons sensitive dynamic random-dot-stereograms in areas 17 and 18 of the rhesus monkey cortex. Society of neuroscience, abstract. 6, 672.
- POGGIO, G.F., TALBOT, W.H. (1981). Mechanisms of static and dynamic stereopsis in foveal cortex of the rhesus monkey. Journal of physiology, 315, 469-492.
- POGGIO, G.F., POGGIO, T. (1984). The analysis of stereopsis. in Annual review of neuroscience. vol. 7. W.M. Cowen, E.M. Shooter. C.F., Stevens and R.I. Thompson, ed. Annual review inc. Palo Alto., 379-412.
- POPPEL, F., BRINKMENN, R., VON CRAMON, D., SINGER, W. (1978). Archive psychiatric Nervenkr, 225, 1.
- PTITO, M., LEPORE, F., LASSONDE, M., DUPLESSIS, H., MICELI, D. (1982). Effects of chiasmectomy on stereopsis in cats. Supplement to investigate ophtalmology and visual science. 22, 125.
- RAWLING, S.C., SHIPLEY, T. (1969). Stereoscopic acuity and horizontal angular distance from fixation. Journal of optical society of america, 59, 991.
- READING, R.W. (1983). Binocular vision. Foundations and applications, R. Butterworths, ed. Boston.
- RICHARDS, W. (1970). Stereopsis and stereoblindness. Experimental brain research, 10, 380-382.
- RICHARDS, W. (1971). Anomalous stereoscopic depth perception. Journal of optometric society of america. 61, 410.
- RICHARDS, W., KAYE, M.G. (1974). Local versus global stereopsis. Two mechanisms?. Vision research, 14, 1345-1347.
- SANDERSON, K.J., SHERMAN, S.M. (1971). Nasotemporal overlap in visual field projected to lateral geniculate nucleus in the cat. Journal of neurophysiology, 34, 453-466.
- STONE, J., LEICESTER, J., SHERMAN, S.M. (1973). The nasotemporal division of the monkey' retina. Journal of comportemental neurology. 150, 333-348.
- TIMMEY, B., ELBERGER, A.J., VANDEWATER, M.L. (1984). sous press.
- WHEATSTONE, G. (1838). Contributions of the physiology of vision. On some remarkable and hitherto observed phenomena of binocular vision. Philos. Trans. Soc., 128, 371.

- WERNIKE (1985). dans GELINAS, C. (1984). Implication différentielle des hémisphères cérébraux dans l'analyse de paramètres linguistiques chez les dysphasiques. Thèse de maîtrise inédite. Université du Québec à Trois-Rivières.
- WESTHEIMER, G., TANZMAN, J.J. (1956). Qualitative depth localization with diplopic images. Journal of optometry society of america. 46, 116.
- WESTHEIMER, G., MITHCELL, D.E. (1969). The sensory stimulus for disjunctive eye movements. Vision research, 9, 749-775.